

Notiziario Tecnico

Archivio

2/1996

 **TIM**

Miglioriamo il nostro patrimonio di conoscenze

Cari lettori,

mi è particolarmente gradito rivolgere alcune parole di saluto attraverso il Notiziario Tecnico Telecom Italia che ha da poco assunto una nuova veste grafica ed un taglio editoriale che, pur conservando il tradizionale rigore scientifico, lo rendono fruibile da un pubblico più vasto. Desidero inoltre approfittare di questa occasione per alcune personali riflessioni.

In un periodo di tumultuosi cambiamenti tecnologici, come quello che stiamo vivendo, aumenta in modo esponenziale il rischio di deperimento delle conoscenze tecniche. Diventa quindi essenziale, per preservare la nostra competitività, dedicare sempre maggiore impegno all'aggiornamento e alla valorizzazione delle competenze distintive dell'Azienda. Per presentare infatti un'offerta migliore e con tempestività è necessario unire alla comprensione delle esigenze manifeste o latenti dei nostri Clienti il dominio della tecnologia e la conoscenza delle potenzialità offerte dalle reti. Il Notiziario è dunque uno degli strumenti che permette di migliorare il nostro patrimonio di conoscenze, fornendo allo stesso tempo stimoli per nuovi interrogativi o per approfondimenti da condurre assieme ai colleghi nell'ambito delle rispettive competenze e responsabilità.

Un ulteriore elemento rende, a mio avviso, prezioso il contributo dato dal Notiziario: in un contesto che richiede un sempre maggiore orientamento al cliente, e quindi lo sviluppo di una cultura specifica rispetto ai business presidiati, questo strumento potrebbe costituire uno dei facilitatori del processo di integrazione interno, fornendo l'occasione per un incontro su temi che rappresentano un patrimonio comune di tutta l'Azienda.

Mi piace anche sottolineare che, da sempre, il mondo esterno alla Società ha riconosciuto ai tecnici di Telecom Italia una elevata professionalità e competenza. Il Notiziario è, quindi, anche una esplicita testimonianza che conferma, anche al di fuori dell'Azienda, questa immagine.

Vorrei infine rivolgere a tutti l'invito ad utilizzare questo mezzo di informazione per condividere i risultati più significativi delle singole esperienze tecniche e, anche, per trasmettere proposte, suggerimenti, o per segnalare eventuali esigenze. Credo infatti che risulterà sempre più importante il rafforzamento di un flusso di informazione dai destinatari verso la rivista, per adeguarne sempre di più i contenuti alle esigenze e alle aspettative dei lettori.

Ho motivo di ritenere che il Direttore Responsabile e i componenti del Comitato di Direzione del Notiziario, che stimo, saranno lieti di proseguire ed allargare il colloquio con i propri lettori. Ad essi, ai componenti della Redazione e a chi ha contribuito con articoli e memorie, desidero porgere il mio più sentito apprezzamento per aver saputo realizzare e migliorare nel tempo questo importante osservatorio tecnico, la cui validità è confermata anche dal consenso che riceve dall'esterno della Società.

A tutti auguro che la rivista continui ad offrire nuove occasioni di crescita professionale, elemento importante per vincere le sfide che ci aspettano anche nell'immediato.

Molto cordialmente.

Il Presidente di Telecom Italia
Umberto Silvestri

ITALSAT F2 e' in orbita

*... et in caelum paribus se sustulit alis
ingentemque fuga secuit sub nubibus arcum.*

*(... ad ali aperte s'alzò veloce nel cielo tracciando
col suo volo un arco sterminato sotto le nuvole.)*

Virgilio - Eneide, Canto IX, v. 14-15, Trad. C. Vivaldi

Il satellite italiano ITALSAT F2 è partito per lo spazio da Kourou nella Guyana Francese l'8 agosto ed è "sopra" le nuvole. Questo satellite segue ITALSAT F1, lanciato all'inizio del 1991, che continuerà ad essere collegato alle stazioni di terra per almeno altri due anni. Da trentaseimila chilometri di distanza dal suolo i due satelliti ricevono la nostra voce e la ritrasmettono a terra: "ci ascoltano e ci parlano". Ci piace pensare che una tecnologia d'avanguardia sia impiegata in satelliti italiani per telecomunicazioni (bande di frequenza elevate, sopra i 20 GHz, commutazione a bordo, precisione negli "spot" trasmessi a terra dal satellite ...) e che, attraverso questi sviluppi, sia stata confermata la competenza dell'industria del Paese e sia stato accresciuto il nostro prestigio tecnico a livello internazionale.

Per questi motivi abbiamo ritenuto opportuno inserire, in questo numero della rivista, alcuni brevi interventi su ITALSAT F2, sulle fasi del lancio in orbita e sul programma di impiego del satellite, preparati da due noti esperti: Francesco Valdoni, professore di Comunicazioni Elettriche, che ha svolto un'intensa attività scientifica di ricerca sui satelliti per telecomunicazioni, e Franco Marconicchio, Responsabile del programma ITALSAT, oltre che da Giuseppe Gerarduzzi, Responsabile della Divisione Rete, che ha rappresentato Telecom Italia a Kourou nelle fasi finali del lancio, e da Enzo Vitali, Responsabile dei collegamenti via Satellite in Telecom Italia.

Ringraziamo gli autori per aver preparato in tempi rapidi un quadro breve ma completo sul sistema ITALSAT, mentre preannunciamo l'inserimento di altri articoli specialistici sui satelliti e sulle stazioni di terra nei prossimi numeri del Notiziario.

r.c.

Ho "sentito" ITALSAT F2 andare nello spazio

GIUSEPPE GERARDUZZI

Kourou, 8 agosto 1996 - Mancano poco più di dieci minuti alle otto di sera qui, a Kourou nella Guyana Francese. In Italia è già iniziato da quarantanove minuti il nuovo giorno. Come di consueto, in quest'area equatoriale, la temperatura e l'umidità sono oggi elevate, il cielo è solcato da grandi nuvole, c'è calma di vento; le condizioni meteorologiche sono quindi adatte al lancio in orbita dei due satelliti, ITALSAT F2 e Telecom 2D, che stanno per partire e per percorrere assieme i primi venti minuti del viaggio nello spazio.

Andreas Drittenpreis, Direttore delle operazioni di lancio in orbita del centro spaziale guyanese, si appresta a dare il comando all'accensione dei motori del vettore. E' questo il novantesimo lancio con vettori ARIANE, il sessantunesimo con ARIANE 4.

Da quando nel 1988 ARIANE 4 ha cominciato ad essere impiegato, il lancio è fallito una sola volta. La probabilità di insuccesso è perciò bassa; ma in un'operazione con questa complessità, "dietro l'angolo" possono nascondersi eventi imprevisi: proprio in questa base di Kourou all'inizio di giugno è fallito il primo lancio di ARIANE 5. Anche la fase di controllo, preliminare al lancio al quale oggi assistiamo, ebbe, due giorni fa, un arresto: un dispositivo per il distacco dei motori ausiliari dal corpo del lanciatore presentava un funzionamento al limite del campo di tolleranza per esso previsto. Fu sostituito rapidamente con un pezzo di ricambio giunto espressamente dalla Francia; riprese poi il conto a ritroso che precede il lancio.

L'emozione oggi è forte, specie tra gli italiani presenti, partecipi di uno dei momenti maggiormente a rischio per il nostro satellite.

Siamo usciti all'aperto da circa un minuto dalla grande sala, the Jupiter Technical Center, posta ad undici chilometri dalla base di lancio, dove sui monitor almeno venti specialisti governano le diverse funzioni preliminari alla partenza, e dove abbiamo



(Foto ARIANE SPACE)

Ho "sentito" ITALSAT F2 andare nello spazio

avuto modo di seguire su tre grandi schermi la preparazione finale del vettore ed i controlli per predisporre ARIANE 4 in configurazione di volo.

All'esterno della sala la base di lancio è invisibile sia per la distanza sia perché qui -in questa grande area dedicata al lancio di satelliti, circa novantamila ettari- siamo quasi all'Equatore, e alle otto di sera è già notte fonda e buia.

Gli ospiti di Telecom Italia e di France Telecom sono più fortunati di noi: sono

infatti molto più vicini al vettore, a meno di quattro chilometri, e potranno quindi vedere e sentire meglio il distacco di ARIANE 4 dalla rampa. A Roma, presso l'Alenia Spazio, altri invitati seguono questo evento su un grande schermo.

Il vettore è stato sistemato su una

(Foto ARIANE SPACE)



Base di lancio di Kourou nella Guyana francese.

grande piattaforma in cemento armato che presenta condotti forati, rivestiti con materiale refrattario al calore, posti in corrispondenza del motore principale e dei quattro motori ausiliari, i quattro booster. Viene dato il comando per la partenza; passano poco più di due secondi e vediamo a contatto del terreno un bagliore accecante che illumina a giorno tutta l'area circostante. Le fiamme del propellente bruciato escono dai condotti posti nella base di lancio e vanno lontane da ARIANE 4.

Tutt'intorno al lanciatore è pompata acqua a pressione molto elevata, che serve a creare una barriera per il calore causato dalla combustione del propellente e, soprattutto, ad attenuare le vibrazioni dei motori che potrebbero disintegrare il vettore.

Passano ancora quasi tre secondi e questa palla di fuoco comincia a sollevarsi da terra dapprima lentamente e, per noi lontani dalla base, nel silenzio della notte.

Trascorre poco più di mezzo minuto ed arriva un suono cupo, sordo, a "bassa frequenza" che percepiamo con il corpo oltre che con l'udito. Sentiamo, anche fisicamente, che questo lancio ci appartiene: comincia ad attenuarsi la tensione dell'attesa, sempre più cresciuta in queste ultime ore.

Siamo arrivati infatti da tre giorni, in questo Dipartimento Francese d'Oltremare, posto quasi all'Equatore, nell'America Meridionale e grande quasi un terzo dell'Italia, ma popolato solo da centoquindicimila abitanti.

Arrivando abbiamo sorvolato la foresta equatoriale che copre quasi completamente questa regione; una volta a terra abbiamo visto la savana fronteggiare l'Oceano. Questa terra ci era nota finora solo forse per le sue carceri: Cayenne, Saint-Georges, Kourou, Marre Ottantamila condannati

Ho "sentito" ITALSAT F2 andare nello spazio

furono reclusi in questa terra finché la Francia nel 1946 non chiuse completamente queste prigioni.

Alcuni detenuti divennero famosi: Alfred Dreyfus prima condannato al carcere a vita e poi, dopo dodici anni, riabilitato, e Papillon (Henri Charrière), noto per il libro da lui scritto dopo tredici anni di detenzione e, ancor più, per un film che si ispirò alle vicende in esso raccontate e che ci permise di vedere questi luoghi.

Questa regione è divenuta oggi nota perché da essa partono la metà circa dei satelliti civili posti in orbita geostazionaria. Nella Guyana, infatti, nella zona costiera che va da Kourou a Sinnamary, il Governo francese avviò nel 1966 la realizzazione di un centro spaziale per il lancio di missili e di satelliti in sostituzione di quello di Hammaguir nel Sahara.

La posizione della base a solo 5° di latitudine Nord permette di effettuare lanci in orbita stazionaria che, sfruttando la rotazione della terra, consentono di raggiungere con un minor dispendio di energia la posizione finale prevista nello spazio per il satellite: un'orbita equatoriale geostazionaria.

ITALSAT F2 è arrivato a Kourou il 30 maggio, e da allora è cominciata la preparazione per il lancio. Quattro settimane fa anche il vettore ARIANE 4, nella versione 44L, quella di maggior potenza oggi disponibile, ha cominciato ad essere predisposto per la partenza. Il vettore è stato poi spostato sulla rampa di lancio quindici giorni fa.

Ed ora esso è finalmente partito. Sale quasi verticalmente ed accresce rapidamente la sua velocità. Al termine della propulsione data dal primo stadio del lanciatore, in soli tre minuti, ha già raggiunto la velocità di quasi 2800 m/s (mentre una palla di fucile non supera gli 800 m/s) ed un'altezza di 86.000 metri.

La traiettoria si piega sensibilmente dopo tre minuti e mezzo dall'avvio dell'operazione di lancio. Istintivamente, per un attimo, temiamo per il successo dell'operazione; sappiamo però che questo cambiamento di direzione è programmato: serve per portare il satellite, quasi parallelamente alla terra, al perigeo dell'orbita di trasferimento, e cioè dell'orbita nella quale il satellite è posizionato prima di

passare a quella geostazionaria.
Da questo momento non è più possibile vedere ad occhio nudo il vettore; possiamo seguire il lancio solo sui monitor della sala Jupiter: vediamo ormai ARIANE 4 come un punto che si muove su uno schermo. Possiamo tuttavia osservare che segue esattamente l'orbita definita dal

**Il vettore
ARIANE 44L in
fase di lancio.**



(Foto ARIANE SPACE)

Ho "sentito" ITALSAT F2 andare nello spazio

progettista del lancio che qui al Centro hanno chiamato l'"architetto industriale dello spazio": un percorso molto complesso che obbedisce alle leggi della meccanica celeste.

A 159 chilometri dal suolo e ad una velocità di 5600 m/s il motore del secondo stadio si separa da ARIANE 4. Inizia la terza fase del lancio che serve per accelerare il vettore in modo da portarlo ad una velocità sufficiente a far raggiungere al satellite l'orbita di trasferimento. La traiettoria adesso, come da progetto, si avvicina un po' alla terra per dar modo ai due satelliti di aumentare ancora la velocità. Poi il vettore risale nuovamente, e dopo circa ventun minuti dal lancio, il satellite ITALSAT F1 lascia ARIANE 4 sopra il Golfo di Guinea alla velocità di 9700 m/s e ad un'altezza dal suolo di 358 chilometri. Da questo momento prosegue da solo il suo cammino nello spazio e stabilisce subito un contatto radio con la base di Malindi.

La fase di lancio si conclude positivamente. Le agenzie di stampa comunicano il successo dell'operazione: questo evento sarà riportato su molta stampa internazionale; ma un maggior risalto sarà dato domani sui quotidiani italiani e francesi.

Al di là degli applausi e dei discorsi di occasione, resta la soddisfazione di aver vissuto i primi momenti, forse i più emozionanti, del viaggio nello spazio di ITALSAT F2, satellite italiano realizzato con prestazioni di avanguardia.

Fra un po' questo nuovo satellite comincerà ad essere impiegato da Telecom Italia, collegandosi con le otto stazioni a terra già esistenti e con le cinque in via di approntamento. Ma questo impiego lo tratteremo in un altro contributo che compare in questo stesso numero della rivista.

*Ing. Giuseppe Gerarduzzi
Responsabile della Divisione Rete di Telecom Italia*

Il sistema ITALSAT

FRANCESCO VALDONI



ITALSAT F2 - unità di volo.

(Foto Alenia Spazio)

1. Dalle origini ai lanci

Sul finire degli anni settanta, la espansione delle tecniche numeriche e l'avvento delle fibre ottiche spinsero le telecomunicazioni spaziali alla ricerca di nuove soluzioni per i servizi fissi. Mantenendo il paradigma di satellite trasparente e agendo principalmente sul segmento terreno, si puntò da un lato all'introduzione di configurazioni del tipo "user oriented" (reti VSAT - *Very Small Aperture Terminal*); dall'altro, si tese alla individuazione di nuove tecnologie di bordo per attuare reti sovrapponibili a quelle terrestri e con esse cooperanti, in configurazione "network oriented", ma con inserimento più periferico possibile. Nella logica del nuovo paradigma di satellite come nodo di rete furono concepiti, prima in Italia e poi negli USA, due sistemi profondamente innovativi, anche per l'impiego della nuova banda Ka (20 e 30 GHz): ITALSAT [1], [2] e ACTS [3]. Quest'ultimo nacque con carattere decisamente tecnologico, mentre il primo fu sviluppato con il duplice intento di sperimentare nuove soluzioni sistemiche e tecnologiche e di costituire un sistema preoperativo nazionale, contemplando il lancio di un secondo satellite.

Il programma italiano fu promosso dal governo per sostenere lo sviluppo dell'industria italiana delle telecomunicazioni spaziali, che aveva allora costruito con successo la coppia di satelliti SIRIO, di massa media e stabilizzati a spin, ma non trovava un ruolo sistemistico significativo nell'ambito dei programmi della *Agenzia Spaziale Europea (ESA)*. A valle di uno studio di fattibilità, fu assunto come primo obiettivo la messa a punto di una carrozza che fosse allineata con lo stato dell'arte, ossia con massa in orbita attorno a 1.000 kg e stabilizzata a tre assi; il secondo obiettivo fu determinato nell'acquisizione delle conoscenze più avanzate sui carichi utili di telecomunicazione unitamente alla disponibilità di un sistema capace di offrire servizi nell'ambito della rete italiana.

Il satellite, a carattere ibrido sperimentale-preoperativo, fu in effetti definito attorno al 1983 come multimissione. Nella prima unità di volo (ITALSAT-F1), al carico utile principale molto innovativo ne fu affiancato uno più tradizionale, trasparente, ma ancora in banda Ka; il carattere sperimentale fu inoltre arricchito con l'imbarco di emettitori capaci di consentire esperimenti di propagazione alle frequenze di 40 e 50 GHz, estendendo

nella gamma EHF la linea di ricerca che ebbe inizio con il satellite SIRIO-1. Il carico della seconda unità di volo (ITALSAT-F2) è stato poi modificato unicamente per la sostituzione di tali ultimi apparati con dei traspositori trasparenti per comunicazioni mobili in banda L, con copertura europea e mediterranea (sistema EMS di ESA). In figura 1 sono riportati i disegni schematici delle due unità.

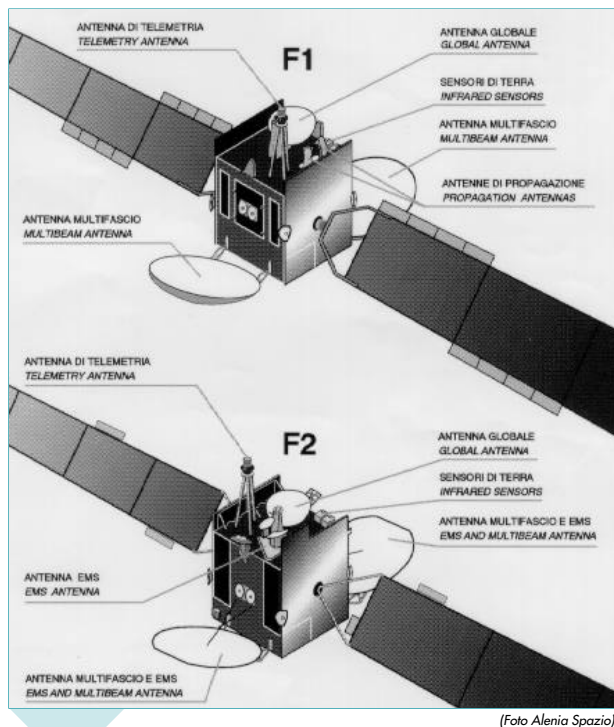


Figura 1 Configurazioni dei satelliti F1 e F2.

La sostanza molto ambiziosa del traguardo programmato causò una dilatazione nel suo tempo di raggiungimento, così da interporre un decennio tra la concezione del sistema preoperativo e la sua disponibilità in rete, agli inizi degli anni novanta, in un contesto che nel contempo risultò profondamente modificato dal tumultuoso e sorprendente sviluppo delle tecnologie ottiche.

2. Le innovazioni sistemistiche e tecnologiche

Le principali scelte sistemistiche alla base della missione più innovativa di ITALSAT, consolidate nel quadro degli assetti di rete prevedibili nei primi anni ottanta e condizionate dalle prospettive degli sviluppi tecnologici di allora, riguardarono:

- *la copertura a mosaico del territorio servito* (6 fasci sull'Italia),
- *il ricorso esclusivo alle tecniche numeriche* (flussi a 147 Mbit/s e trama modulare),
- *la rigenerazione con mo-demodulazione a bordo*,
- *l'impiego flessibile delle risorse di bordo* (connettività di spazio riconfigurabile),
- *il trattamento della segnalazione nelle stazioni terrene.*

Ne è risultato un sistema numerico avente la capacità complessiva lorda riconfigurabile di 885 Mbit/s, con accesso multiplo a divisione di tempo e commutazione in banda base sul segmento spaziale, e con assegnazione su domanda nel segmento terreno (*sistema multifascio BB-SS-TDMA-DAMA*).

Le stazioni di traffico, in numero minimo di una per ogni spot e massimo di 16 per spot (con un massimo di 64 in totale), hanno ciascuna una capacità massima equivalente a 1920 giunzioni a 64 kbit/s; le antenne hanno diametro equivalente di 3,5 o 5 m (vedi figura 2) in dipendenza della piovosità del sito.

LE TAPPE PRINCIPALI DEL PROGRAMMA ITALSAT

1980: Avvio del Piano Spaziale Nazionale, gestito dal C.N.R. e al 50% focalizzato sulle telecomunicazioni spaziali.

1981: Avvio dello studio di fattibilità, a cura di Telespazio.

1982: Avvio della definizione di sistema, a cura di Alenia Spazio e di Telespazio.

1984: Avvio del progetto e della realizzazione di ITALSAT-F1, a cura di Alenia Spazio.

1988: Passaggio della gestione alla Agenzia Spaziale Italiana.

1990: Avvio della realizzazione di ITALSAT-F2, a cura di Alenia Spazio.

1991: Lancio di ITALSAT-F1 il 15 gennaio, con il vettore Ariane 44L, e avvio della sperimentazione del sistema, a cura di Telespazio.

1993: Avvio della fase preoperativa del sistema, a cura di SIP (oggi Telecom Italia).

1996: Lancio di ITALSAT-F2 l'8 agosto con il vettore Ariane 44L.



(Foto Nuova Telespazio)

Figura 2 Stazione di traffico.

Le principali innovazioni delle tecnologie a bordo del satellite, conseguenti alle scelte sistemiche, furono:

- *l'impiego della banda Ka* (20 GHz in discesa e 30 GHz in salita),
- *le antenne multifascio con puntamento automatico* (precisione $\pm 0,03^\circ$),
- *i traspositori rigenerativi* (modem QPSK coerenti, a burst),
- *la elaborazione numerica a bordo* (matrice ECL con orologio di 74 MHz),
- *l'esteso uso di tecnologia software* (controllore della matrice).

L'intero sistema ITALSAT multifascio è stato perciò concepito, almeno per una parte delle sue risorse di comunicazione, come un nodo di rete del tipo TST, con stadi T (temporali) distribuiti tra le stazioni

terrene, stadio S a bordo del satellite e gestione affidata a un Centro di Controllo Telecomunicazioni a terra. Oltre la funzione trasmissiva, con riarrangiamento veloce della matrice riconfigurabile di bordo che assicura la connettività, è consentita l'evoluzione verso l'espletamento di diverse funzioni di concentrazione del traffico (funzioni di commutazione), sia a livello delle stazioni sia a livello di sistema, mediante differenti tecniche di assegnazione su base chiamata dei canali via satellite. In particolare [4] oltre all'affasciamento del traffico a livello di stazione è consentita l'assegnazione su base chiamata di tipo origine variabile/destinazione variabile su fasci di canali satellite per relazioni tra spot e spot; si ha inoltre la potenzialità di sviluppare l'assegnazione su domanda di tipo pienamente variabile su una preassegnata risorsa comune, da ogni spot verso i rimanenti.

3. Considerazioni conclusive

Lo svolgimento del programma ITALSAT, che con l'attuale lancio della seconda unità di volo vede il completamento della linea di attività industriale, ha consentito di raggiungere con pieno successo il traguardo della maturazione del comparto manifatturiero nazionale: Alenia Spazio è infatti oggi capo-commessa di altri satelliti di telecomunicazione (l'italiano SICRAL e ARTEMIS di ESA), ma è anche coinvolta in modo profondo in imprese internazionali che si muovono nella logica di mercato.

Inoltre ITALSAT-F1 per la sua concezione innovativa e soprattutto per le avanzate tecnologie, eccellentemente dimostrate in orbita fin dal gennaio 1991, non solo ha costituito un significativo passo in avanti nell'ambito delle telecomunicazioni spaziali, ma è stato riconosciuto dagli esperti mondiali del

CONFRONTO TRA LE CARATTERISTICHE DI RILIEVO DEI DUE SATELLITI

CARATTERISTICHE	ITALSAT - F1	ITALSAT - F2
Data di lancio	15 gennaio 1991	8 agosto 1996
Anni di vita orbitale	7	8
Massa in orbita a inizio vita	1.120 kg	1.190 kg
Potenza primaria a inizio vita	2.070 W	2.700 W
N. di trasp. rigenerativi in Ka	6 (a 147 Mbit/s)	6 (a 147 Mbit/s)
EIRP per trasp. rig. in Ka	57 dBW	57 dBW
N. di trasp. trasparenti in Ka	3 (banda 36 MHz)	3 (banda 36 MHz)
EIRP per trasp. trasp. in Ka	47 dBW	47 dBW
Frequenza oltre la banda Ka (copertura)	40 e 50 GHz (↓) (Europa)	L (↓) e Ku (↑) (Europa + Nord Africa)
N. di trasp. trasparenti in L	---	3 (banda 4 MHz)
EIRP totale in L	---	43 dBW

settore come uno dei cardini (l'altro è ACTS, in orbita dal settembre 1993) della cospicua e brusca svolta che si è verificata dopo trenta anni nella sistemistica via satellite, con il mutamento al nuovo paradigma in cui quest'ultimo è divenuto nodo di rete nello spazio, grazie alle tecnologie di elaborazione numerica a bordo.

In Italia lo straordinario accumulo di conoscenze consentito dal programma ITALSAT è stato marginalmente apprezzato, forse valutando più le carenze attuali delle prestazioni del sistema preoperativo concepito all'inizio degli anni '80, che non guardando alle prospettive aperte dalle nuove tecnologie. Ben diversa è stata la reazione negli USA, dove si è delineata una forte tendenza allo sviluppo di nuovi sistemi globali, appunto basati su satelliti in banda Ka di tecnologia molto avanzata, miranti all'offerta diretta di servizi multimediali interattivi, prevalentemente con ritmi binari compresi tra 16 kbit/s e 2 Mbit/s, mediante piccoli terminali di utente.

La Hughes nel 1993 (sistema SPACEWAY basato su satelliti GEO), poi Teledesic nel 1994 (sistema TELEDESIC basato su una costellazione di ben 840 satelliti LEO) e quindi numerose altre aziende hanno richiesto nel 1995 alla Federal Communications Commission le autorizzazioni per i nuovi sistemi menzionati; queste iniziative sono state al centro di un convegno internazionale svoltosi recentemente a Roma [5], la cui seconda edizione si è tenuta a Firenze nel mese di settembre. Tra le ultime proposte vi è quella del grosso raggruppamento Lockheed Martin (sistema ASTROLINK [6] basato su satelliti GEO).

E' da notare che i programmi annunciati in banda Ka, con previsione di operatività tra il 1998 e il 2001, comportano investimenti globalmente superiori a 20 miliardi di dollari, ovvero più del doppio di quanto è previsto per i sistemi mobili personali via satelliti LEO già in fase di sviluppo (IRIDIUM, GLOBALSTAR ed altri).

Non rimane che augurarsi che le industrie e i gestori italiani, tutt'altro che privi delle basi necessarie, sappiano presto trovare un ruolo adeguato nel nuovo scenario mondiale delle telecomunicazioni spaziali aperto da ITALSAT.



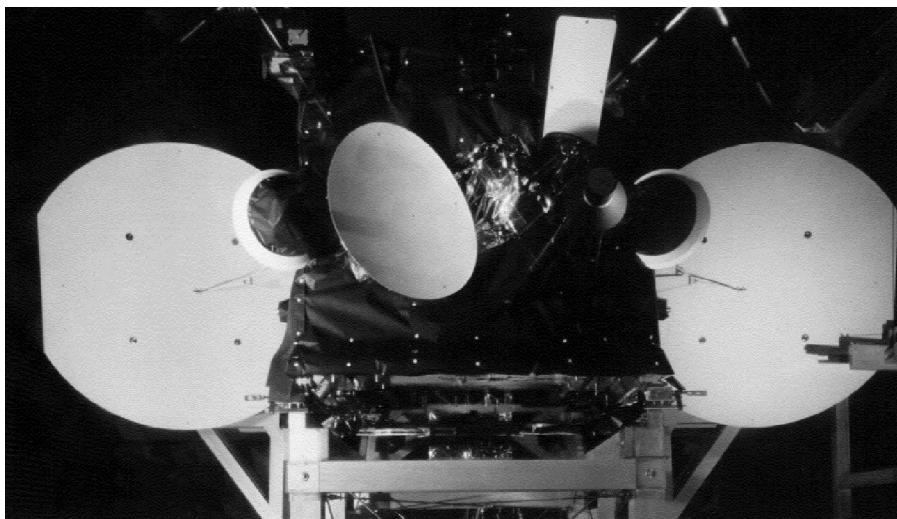
Francesco Valdoni, laureatosi a Roma in Ingegneria Elettronica, è stato ricercatore della Fondazione Ugo Bordoni fino al 1969, quando è passato all'Università di Bologna, dove ha insegnato Radiotecnica fino al 1982. Da allora è professore di Comunicazioni Elettriche presso l'Università di Roma "Tor Vergata". Ha svolto ricerche sui circuiti a microonde, sui ponti radio, sulla trasmissione in guida d'onda millimetrica, sui sistemi per l'assistenza al volo e sui satelliti per telecomunicazioni.

Bibliografia

- [1] Marconicchio, F.; Tirrò, S.; Valdoni, F.: *The ITALSAT Preoperational Communication Satellite Program*. «Acta Astronautica», Vol. 10, n. 2, 1983.
- [2] Marconicchio, F.; Morelli, G.; Valdoni, F.: *ITALSAT, an Advanced on Board Processing Satellite Communication System*. Proceedings 14th AIAA International Communication Satellite Systems Conference, Washington (DC), March 1992.
- [3] Naderi, F.M.; Campanella, S.J.: *NASA's Advanced Communications Technology Satellite (ACTS): an Overview of the Satellite, the Network and the Underlying Technologies*. Proceedings 12th AIAA International Communication Satellite Systems Conference, Arlington (VA), March 1988.
- [4] De Padova, S.; Marconicchio, F.; Saitto, A.; Valdoni, F.: *Integration and Exploitation Aspects for a Switching Satellite System in the Italian Public Network*. ECSC-1, First European Conference on Satellite Communications, Munich, November 1989.
- [5] IIC Ka Utilization Conference. Rome, October 1995.
- [6] Gargione, F.; Elizondo, E.: *The Astrolink System*. 20th ISTS, Gifu (Giap.), May 1996.

Il satellite ITALSAT F2

FRANCO MARCONICCHIO



ITALSAT F2 con antenne di telecomunicazioni aperte (vista superiore).

(Foto Alenia Spazio)

1. Il programma

Il lancio del satellite ITALSAT F2 rappresenta il completamento del programma ITALSAT, sviluppato e gestito dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Scopo del programma è stato la realizzazione di un sistema nazionale per telecomunicazioni via satellite ad alto contenuto tecnologico ed innovativo. Gli elementi chiave del programma sono stati lo sviluppo e la realizzazione:

- di due satelliti (F1 ed F2);
- delle apparecchiature ed infrastrutture di controllo a terra (TT&C e Centro di Controllo Satellite);
- del Centro di controllo e terminali di traffico per il sistema multifascio (solo sviluppo);
- dei terminali per esperimenti di propagazione in banda EHF; ed inoltre:
- il lancio di entrambe le unità di volo;
- la sperimentazione di propagazione a 20-40-50 GHz;
- l'utilizzazione per sperimentazioni, dimostrazioni ed uso operativo dei carichi utili di comunicazione multifascio e globale.

ITALSAT F1 è stato lanciato con successo nel gennaio '91 da un lanciatore Ariane 44L ed ha raggiunto la posizione orbitale definitiva a 13,2° di longitudine Est il 6 febbraio '91. Dopo una campagna di prove funzionali in orbita (IOT) è stata condotta una fase di sperimentazione terminata a dicembre '92. E dall'inizio del 1993 i due carichi utili di tele-

comunicazioni quello multifascio e quello globale sono operativi.

L'8 agosto '96 da un lanciatore Ariane 44L è stato lanciato con successo ITALSAT F2. Il satellite ha raggiunto la posizione orbitale di 16,4° di longitudine Est e, all'inizio di settembre, da questa posizione sono ora in corso le prove di collaudo in orbita.

1.1 Carichi utili

I satelliti ITALSAT F1 ed F2 hanno a bordo i seguenti carichi utili:

- multifascio, costituito da sei trasponditori rigenerativi operanti a 20/30 GHz con una bit rate di 147 Mbit/s e da due antenne, apribili in orbita, del diametro di circa 2 m;
- globale, costituito da tre trasponditori trasparenti, operanti a 20/30 GHz e da un'antenna a copertura nazionale montata sul corpo del satellite;
- EMS, European Mobile System, (solo su ITALSAT F2) costituito da un trasponditore di andata ed uno di ritorno. Il carico utile EMS trasmette e riceve i segnali in banda "L" tramite le due antenne del carico multifascio: un'antenna riceve, mentre l'altra trasmette. I segnali in banda Ku sono trasmessi e ricevuti tramite un'apposita antenna, montata sul corpo del satellite;
- esperimento di propagazione (solo su ITALSAT F1) a 40/50 GHz, costituito da due trasmettitori e da due antenne montate sul corpo del satellite.

2. La piattaforma

La *piattaforma* (satellite base) è stabilizzata su tre assi sia in orbita di trasferimento sia in orbita geostazionaria. La configurazione e le dimensioni del satellite sono riportate in fig. 1.

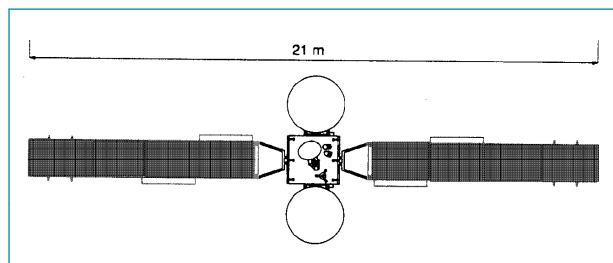


Figura 1 Configurazione e dimensione del satellite.

La parte centrale della piattaforma è costituita da un cilindro che ospita i due serbatoi di propellente. Il carico utile multifascio è montato sul pannello nord mentre quello globale e quello di propagazione (solo su F1) o quello EMS (solo su F2) sono installati sul pannello sud.

Il sottosistema antenne per le comunicazioni include antenne con il riflettore apribile -due per il carico multifascio- ed antenne fisse: una per il carico globale, una per l'EMS in banda Ku, due per l'esperimento di propagazione, queste solo in F1, ed una omnidirezionale per la telemetria ed il telecomando. Le antenne fisse sono montate sul pannello superiore che guarda verso terra. Le due antenne apribili sono montate sui pannelli est ed ovest ed hanno il riflettore chiuso durante il lancio. L'apertura delle antenne multifascio viene effettuata in orbita mediante l'attivazione di bulloni esplosivi che rilasciano il meccanismo di apertura.

La missione multifascio richiede una accuratezza di puntamento di 0,03 gradi ottenuti mediante: un sensore a radiofrequenza, una unità a microprocessore per l'elaborazione dei dati ed un meccanismo di puntamento che movimenta (in azimut ed elevazione) l'antenna rispetto al corpo del satellite.

Il sottosistema di *propulsione unificata* è composto da otto propulsori ausiliari (ridondati) da 22 N per le manovre orbita-

li ed un motore di apogeo da 400 N. Entrambi i sistemi usano lo stesso propellente: mono-metyl idrazina e tetrossido di azoto.

La *piattaforma della seconda unità di volo (F2)* è stata migliorata in alcune aree rispetto a quella di F1. Le principali modifiche hanno interessato i sottosistemi di alimentazione, propulsione e controllo termico. Il sottosistema di alimentazione è ora equipaggiato con nuovi pannelli solari e nuove batterie, entrambi più potenti. Sono stati aggiunti due serbatoi aggiuntivi di propellente (20 litri ognuno), collegati in serie ai due serbatoi principali (ciascuno da 397 litri), per aumentare la capacità del sottosistema di propulsione al fine di compensare l'aumento di massa del satellite e garantire una maggiore vita orbitale (sino a 7,5 anni). Elementi attivi di controllo termico (heat pipes) aggiunti sul pannello sud per garantire una migliore dissipazione del calore prodotto, in particolare dal carico utile EMS. Le antenne multifascio di F2 utilizzano un nuovo sistema integrato di apertura e di puntamento, di recente sviluppato e qualificato. Questo nuovo meccanismo ha permesso una riduzione della massa rispetto all'equivalente sistema impiegato su F1. I dati principali delle piattaforme F1 ed F2 sono posti a confronto nella tab. 1.

	F1	F2
Posizione geostazionaria (gradi)		
riserva attiva		16,4° E
esercizio	13,2° E	13,2° E
Dimensioni (m)	altezza, larghezza	altezza, larghezza
al lancio	2,29 x 2,74	2,3 x 2,44
in orbita di trasferimento	6,32 x 2,74	6,88 x 2,44
in orbita geostazionaria	21 x 6,1	24,03 x 5,89
Massa al lancio (kg)		
piattaforma	661	715
carico utile	<u>291</u>	<u>310</u>
satellite (esclusi propellenti)	952	1025
propellenti	<u>915</u>	<u>963</u>
Totale	1867	1988
Totale all'inizio vita	1119	1200
Vita utile		
anni	7	7,5
Potenza (W)		
<i>Richiesta dal satellite</i>		
orbita di trasferimento	515	535
orbita geostazionaria all'equinozio	1553	2039
orbita geostazionaria all'eclisse	1102	1357
<i>Richiesta dal generatore solare</i>		
orbita di trasferimento	530	600
inizio vita	2070	2700
fine vita (agli equinozi)	1760	2220
<i>Fornita dalle batterie</i>	1152	1409

Tabella 1 Caratteristiche delle piattaforme ITALSAT.

3. Il sistema di comunicazione in banda Ka

Entrambe le unità di volo F1 ed F2 hanno a bordo due carichi utili di telecomunicazioni a 20/30 GHz (banda Ka) che coprono l'intero territorio nazionale. Il primo attraverso una copertura a sei fasci (fig. 2) è chiamato carico utile multifascio, il secondo con copertura ellittica (fig. 3) è chiamato carico utile globale.

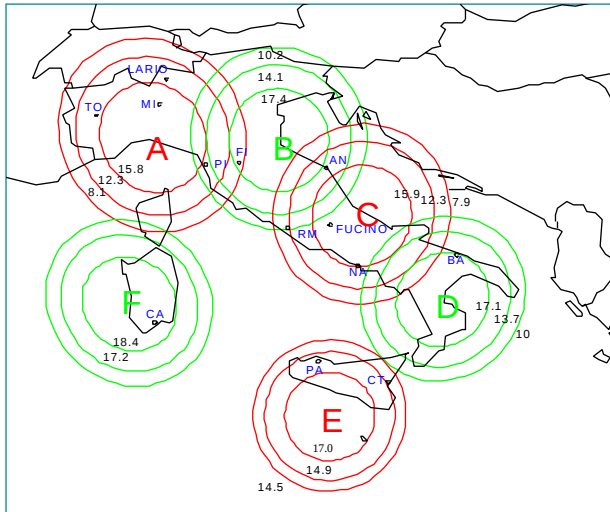


Figura 2 Area di copertura del carico utile "Multifascio".

3.1 Sistema multifascio

Il sistema multifascio è stato progettato specificamente per essere integrato con la rete telefonica pubblica. La capacità del sistema multifascio, totalmente numerica, è fornita sia in modo semi-permanente sia su domanda: la capacità fornita in modo semi-permanente può essere variata in pochi minuti in base alle richieste. Questa procedura è chiamata "Traffic Rearrangement". La capacità fornita su domanda viene assegnata in tempo reale (Demand Assignment). Il sistema multifascio fornisce i seguenti servizi:

- fonia a 32 kbit/s con ADPCM (compatibile con trasmissione dei dati). Il servizio può essere fornito in modo semi-permanente (può essere usato il DSI-Digital Speech Interpolation se richiesto) o su domanda;
- dati n x 64 kbit/s (in modo semi-permanente) con n variabile da 1 a 30;
- videoconferenza (in modo semi-permanente);
- televisione numerica (in modo semi-permanente).

Il carico utile multifascio ha una capacità totale di 882 Mbit/s ed usa le se-

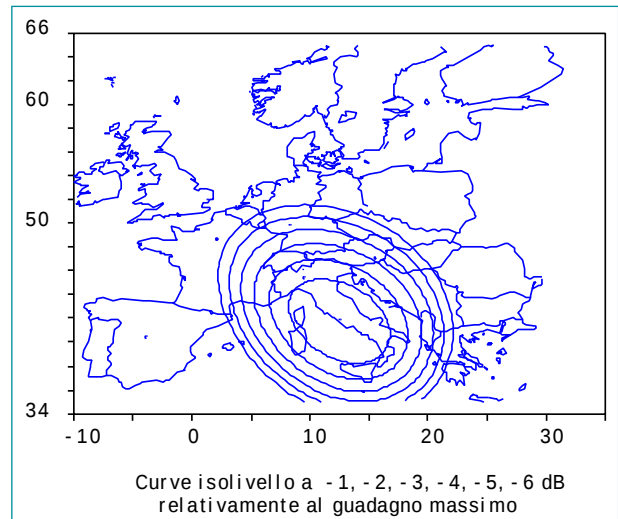


Figura 3 Area di copertura del carico utile "Globale".

guenti tecnologie:

- antenna Multifascio con controllo a radiofrequenza del puntamento (entro 0,03°);
- demodulazione coerente;
- commutazione in banda base realizzata con tecnologia ECL gate array.

Il sistema multifascio è un sistema del tipo BB-SS-TDMA (Sistema di accesso multiplo a divisione di tempo con commutazione a bordo in banda base) nella tratta in salita e TDM nella tratta in discesa. Sono utilizzati trasponditori operativi, uno per ciascuno dei sei spot, con 110 MHz di banda e con *tubo ad onda progressiva* (TWT) da 20 W a radiofrequenza. Lo schema delle ridondanze adottato è specifico per ogni sezione del trasponditore.

La capacità del sistema multifascio è di 12.000 circuiti ciascuno a 32 kbit/s. La tecnica DSI può aumentare questa capacità fino a raddoppiarla.

I dati tecnici del carico utile multifascio sono riportati in tab. 2.

Trasponditori attivi	6
Frequenza	20 - 30 GHz
Larghezza di banda	110 MHz
Velocità di cifra	147 Mbit/s
EIRP (potenza irradiata isotropica effettiva)	57 dBW
Potenza a radiofrequenza	20 W
G/T (Guadagno/Temperatura di rumore)	17 dB/K
Numero delle antenne (antenne apribili)	2
Larghezza del fascio dell'antenna	0,40°
Accuratezza del puntamento	0,03°
Massa del carico utile	222 kg
Potenza del carico utile	726 W

Tabella 2 Caratteristiche del carico utile "Multifascio".

3.2 Carico utile Globale

Il carico utile globale è composto da tre trasponditori trasparenti non ridondati (gracefull degradation). Ogni trasponditore ha una banda utile di 36 MHz ed un tubo da 20 W a RF. Il carico utile consente trasmissioni in tecnica analogica o numerica con terminali d'utente con diametri dell'antenna che vanno da 1,2 a 1,8 m e potenza trasmessa da 5 a 25 W, a seconda della specifica applicazione. L'area di servizio è italiana, ma la sua copertura allargata si estende anche su parte dell'Europa centrale ed occidentale.

Un segnale a 20 GHz è irradiato sulla medesima copertura per consentire il puntamento delle antenne delle reti a terra. Lo stesso segnale è utilizzato anche per misure di propagazione a 20 GHz. I dati tecnici del carico utile globale sono riportati in tab. 3.

Trasponditori attivi	3
Frequenza	20 - 30 GHz
Larghezza di banda	36 MHz
Velocità di cifra	25 Mbit/s
EIRP (potenza irradiata isotropica effettiva)	47 dBW
Potenza a radiofrequenza	20 W
G/T (Guadagno/Temperatura di rumore)	5 dB/K
IPFD (Densità di flusso di potenza al ricevitore)	-91/-100,9 dBW/m ²
Numero delle antenne (antenne fisse)	1
Larghezza del fascio dell'antenna	1,06 - 0,88°
Accuratezza del puntamento	0,20°
Massa del carico utile	36 kg
Potenza del carico utile	264 W

Tabella 3 Caratteristiche del carico utile "Globale".

4. Carico utile EMS (solo su F2)

Il carico utile EMS per servizi mobili assicura il servizio sulle regioni europee, Nord Africa e Turchia (fig. 4). Il carico opera in banda L per le tratte (in salita e discesa) fra utenti mobili e satellite ed in banda Ku fra stazioni master e satellite.

Il carico EMS trasmette e riceve segnali in banda L attraverso le due antenne multifascio. Una antenna riceve, l'altra trasmette, mentre i segnali in banda Ku sono ricevuti e trasmessi attraverso una antenna montata sul piano superiore del satellite. La tratta di andata di EMS (dalla stazione a terra, al mobile) e la tratta

di ritorno (dal mobile alla stazione a terra) sono elaborate nel processore a frequenza intermedia (IF) che realizza la canalizzazione, il filtraggio e l'amplificazione dei segnali. Il processore IF è diviso in due sezioni: quella di andata con tre canali da 4MHz ognuno (ciascun canale da 4MHz è amplificato separatamente) e la sezione di ritorno con dodici canali da 1 MHz, ciascuno amplificato indipendentemente. Le due matrici che formano il fascio inviano i segnali ricevuti in banda L agli LNA e quelli trasmessi agli *amplificatori a stato solido in banda L (LSPA)*. Ognuno dei quattro LSPA genera 23 W a radiofrequenza. La potenza totale irradiata, dopo la combinazione delle quattro uscite degli SPA, è 42 dBW che consente di trasmettere fino a duecento canali di comunicazione bi-direzionale.

I dati tecnici del carico utile EMS sono raccolti nella tab. 4

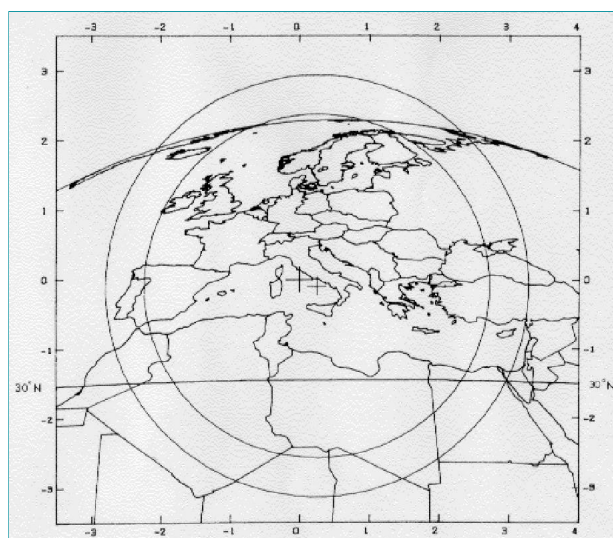


Figura 4 Area di copertura del carico utile "EMS".



Satellite in fase di preparazione al lancio con antenne chiuse.

(Foto Alenia Spazio)

<i>Sezione in banda L (frequenza)</i>	1,4 - 1,6 GHz
Numero antenne (apribili)	2
Trasponditore di andata	3 canali
Larghezza di banda di canale	4 MHz
EIRP (potenza irradiata isotropica effettiva)	42,5 dBW
RF power (4 amplificat. di segnale in banda L)	92 W
Trasponditore di ritorno	12 canali
Larghezza di banda di canale	1 MHz
G/T (Guadagno/Temperatura di rumore)	-2 dB/K
<i>Sezione in banda Ku (frequenza)</i>	12 - 14 GHz
Numero antenne (antenne fisse)	1
Trasponditore di andata	1
G/T (Guadagno/Temperatura di rumore)	-1,4 dB/K
Trasponditore di ritorno	1
EIRP (potenza irradiata isotropica effettiva)	32 dBW
Accuratezza del puntamento	0,20°
Massa del carico utile	52 kg
Potenza del carico utile	400 W

Le principali caratteristiche dell'esperimento a 40 ed a 50 GHz sono:

- piena coerenza di tutti i segnali trasmessi;
- modulazione di fase del segnale a 40 GHz, tale da derivare due bande laterali per misure dell'ampiezza del canale di riferimento e della distorsione di fase;
- polarizzazione ortogonale a commutazione rapida a 50 GHz per una completa definizione della matrice di commutazione del canale di riferimento;
- ampia copertura che comprende larga parte dell'Europa.

Tabella 4 Caratteristiche del carico utile "EMS".

5. Pacchetto di propagazione (presente solo su ITALSAT F1)

Il pacchetto per misure di propagazione estende alla banda 40 e 50 GHz la ricerca di propagazione avviata con il satellite nazionale SIRIO negli anni settanta e proseguita con l'OTS ed OLYMPUS dell'ESA. La ricerca di propagazione di ITALSAT è la più avanzata per le alte frequenze esplorate. F1 ha due trasmettitori a bordo: uno a 40 ed uno a 50 GHz.

La fig. 5 mostra la copertura a 40 ed a 50 GHz dell'esperimento di propagazione.

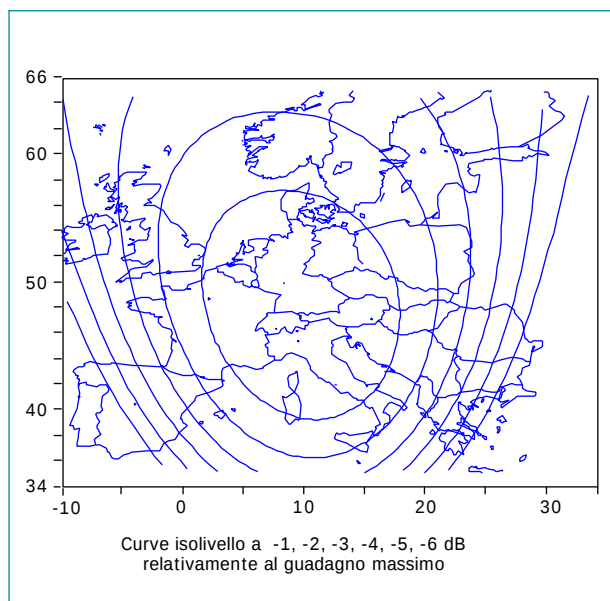


Figura 5 Pacchetto di propagazione a 40 ed a 50 GHz presente in ITALSAT F1.

Abbreviazioni

ADPCM	= Adaptive Delta Pulse Code Modulation
BOL	= Beginning Of Life
DSI	= Digital Speech Interpolation
EHF	= Extremely High Frequency
EIRP	= Effective Isotropic Radiated Power
EOL	= End Of Life
GEO	= Geostationary Orbit
G/T	= Gain over noise Temperature
IF	= Intermediate Frequency
IOT	= In Orbit Test
IPFD	= Input Power Flux Density
LNA	= Low Noise Amplifier
LSPA	= L-Signal Power Amplifier
RF	= Radio Frequency
S/A	= Solar Array
S/C	= Space-Craft
SS-TDMA	= Satellite Switched - Time Division Multiple Access
SSPA	= Solid State Power Amplifier
TDM	= Time Division Multiplexing
TT&C	= Telemetry Tracking and Command
TWTA	= Traveling Wave Tube Amplifier
VSAT	= Very Small Aperture Terminal



Franco Marconicchio, laureato in Ingegneria Elettronica e successivamente in Ingegneria Aerospaziale all'Università "La Sapienza" di Roma. Dopo un breve periodo presso l'Università è entrato a far parte dell'Istituto Ricerche Spaziali (IRS) del CNR, nel quadro del programma SIRIO, divenendo responsabile dello sviluppo del carico utile del SIRIO, della realizzazione delle stazioni a terra di telemetria e telecomando e di comunicazione. Ha fatto parte della delegazione italiana al Program Board per i satelliti di telecomunicazioni. E' responsabile, sin dal suo inizio, del Programma ITALSAT. E' membro di diverse Commissioni e Comitati nazionali ed internazionali.

Il lancio di ITALSAT F2

ENZO VITALI



Carenatura anteriore del vettore ARIANE 44L.

(Foto ARIANE SPACE)

1. Introduzione

Uno dei momenti più emozionanti per la messa in orbita del satellite è la fase di lancio. Come è stato già accennato negli articoli precedenti, per il lancio di ITALSAT F2 è stato utilizzato il lanciatore europeo ARIANE. Questo lanciatore è uno dei più affidabili vettori: infatti complessivamente ha finora portato in orbita con successo centodiciannove satelliti e ventisei carichi utili in novanta lanci, mentre ARIANE Space ha acquisito ordini per il lancio di altri quarantatre satelliti, dei quali quindici europei. Dalla base di Kourou, partono una decina di vettori all'anno: il lancio che ha preceduto la partenza di ITALSAT F2 è avvenuto il 9 luglio, ed ha messo in orbita due satelliti, uno Arabo, l'altro Turco. Il lancio successivo è stato effettuato il 10 settembre: è stato messo in orbita un satellite per telecomunicazioni per conto del Gestore privato americano Echostar.

Dall'esame della documentazione per l'approntamento del lancio colpiscono in particolare due aspetti: anzitutto che, a valle di una campagna di lancio di quattro settimane, il satellite abbandona il vettore dopo solo venti minuti dal consenso alla partenza: una così lunga preparazione si esaurisce quindi in un tempo relativamente breve; in secondo luogo, fa impressione, a prima vista, il rapporto tra la massa in partenza, costituito in larga misura da propellente, e la massa del carico utile: centotredici volte.

E' sembrato quindi opportuno presentare qui di seguito le principali caratteristiche del vettore e de-

scrivere alcune fasi salienti della messa in orbita dei satelliti con ARIANE, legando questa presentazione al lancio di ITALSAT F2.

In questo articolo sono anche indicate le caratteristiche del segmento della rete terrestre di telecomunicazione per la gestione ed il controllo del satellite.

2. La base di lancio

Elemento strettamente legato al sistema di lancio con ARIANE è la base di Kourou nella Guyana francese, situata a 5° di Latitudine Nord: la scelta di questa sede consente di effettuare lanci in orbita di trasferimento con un minor dispendio di energia, rispetto ad altre basi di lancio oggi impiegate nel mondo. Il satellite infatti, prima di essere inserito nell'orbita finale, passa, com'è chiarito in Appendice, per un'orbita di trasferimento ellittica che si trova su un piano, nel quale il satellite è posto dal lanciatore e che presenta un angolo rispetto al piano equatoriale. Questo piano potrebbe essere definito come l'inclinazione dell'orbita di trasferimento rispetto al piano equatoriale, ed è all'incirca uguale alla latitudine del sito di lancio; per rendere il satellite geostazionario, l'inclinazione deve essere annullata gradualmente, mediante una parte del propellente in esso presente, in modo da riportarlo sul piano equatoriale. Nel caso, quindi, di una sede di lancio prossima all'Equatore, l'energia necessaria a questo spostamento è sensibilmente più ridotta di quella necessaria da altre basi di lancio.

Si ottiene così un notevole risparmio del propellente caricato a bordo del satellite per le manovre di correzione del suo piano orbitale e, conseguentemente, si ha una vita operativa più lunga del satellite, e dunque una sua più alta redditività.

3. Il vettore ARIANE 4

Vettori ARIANE sono stati utilizzati dal 1979 per porre in orbita satelliti; nel tempo sono stati successivamente impiegati i modelli ARIANE 1, 2, 3. Dal 1988 ha cominciato ad essere impiegato ARIANE 4, e finora sono stati effettuati sessantuno lanci con ARIANE 4.

Per il lanciatore ARIANE 4 sono previste sei diverse possibili configurazioni che differiscono per il numero di motori ausiliari, denominati "booster", e per il tipo di propellente impiegato: solido o liquido. Queste configurazioni sono impiegate in funzione della massa del carico utile, che può variare da 2,15 t nella versione meno potente, a 4,67 t in quella più complessa di maggiore potenza. Per ITALSAT F2 è stata impiegata la configurazione più potente in quanto, con questo lancio, è stato messo in orbita anche il satellite francese Telecom 2D⁽¹⁾. Questa configurazione, denominata ARIANE 44L, è stata utilizzata finora venti volte. Il lanciatore in questo caso era alto 58,4 m (fig. 1).

Nel lancio di ITALSAT F2, il *primo stadio* di lancio, denominato L220, ha bruciato, con i suoi quattro motori Viking V, 228 t di propellenti liquidi (perossido di azoto ed idrazina) in 3 min 32 s con una spinta al suolo di 2708 kN (4x677 kN), ed ha raggiunto, al termine del suo funzionamento, una quota di 74,3 km ed una velocità di 2786 m/s. Per aumentare la spinta iniziale del vettore, il primo stadio portava anche quattro motori booster, ciascuno con 39,4 t di propellente liquido (sempre perossido di azoto ed idrazina), che hanno funzionato per i primi 2 min 31 s e che si sono separati dal vettore a metà percorso del primo stadio, ad una quota quindi di circa 37 km.

Nel *secondo stadio*, L 33, dotato di un solo motore Viking IV, il lanciatore ha raggiunto 159 km di quota, consumando altre 34 t dello stesso propellente liquido impiegato nel primo stadio in 2 min 8 s.

Il *terzo stadio*, H10 III, equipaggiato con un solo motore HM7.B, ha bruciato 11,9 t di idrogeno e di ossigeno liquidi immagazzinati a temperature molto basse (-175° per l'ossigeno liquido e -250° per l'idrogeno liquido) ed ha funzionato per 12 min 56 s; questo stadio ha raggiunto una quota di 358 km, una velocità massima di 9740 m/s ed ha immesso ITALSAT F2 nell'orbita di trasferimento geostazionaria.

Sopra il terzo stadio il vettore comprendeva una carenatura a forma di ogiva che serviva a proteggere, durante il volo in atmosfera, i due satelliti (ITALSAT F2 e Telecom 2D); essa è stata espulsa quando il vettore ha lasciato l'atmosfera. Nella parte superiore

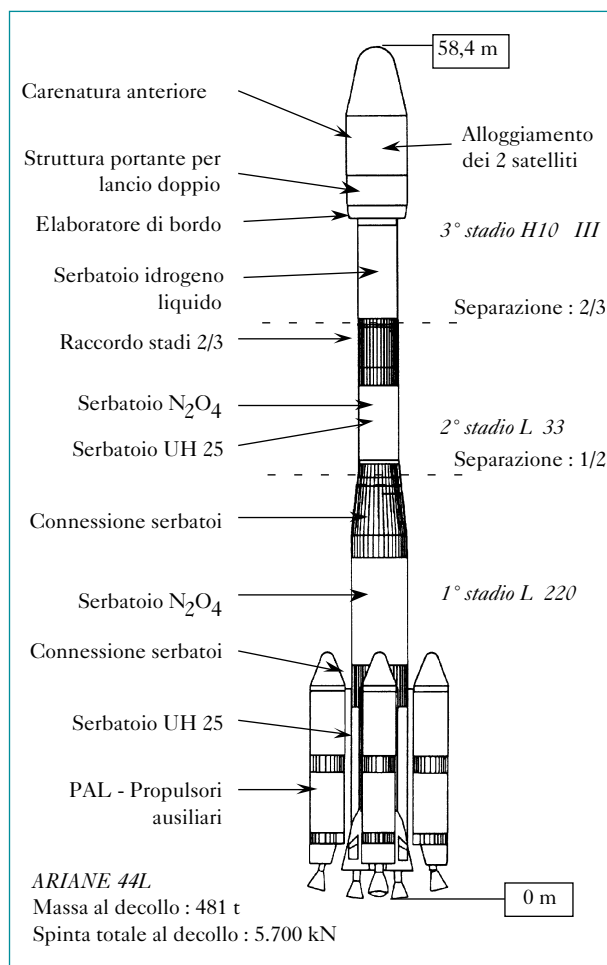


Figura 1 Schema del lanciatore ARIANE 90 (ARIANE 44L con quattro propulsori ausiliari a combustibile liquido).

della fig. 1 è rappresentato un adattatore (SPELDA) utilizzato nel caso di lanci doppi, per il raccordo tra i due satelliti e per consentire di porre in orbita due carichi utili tra loro indipendenti.

Una caratteristica peculiare del lanciatore è la sua capacità elaborativa: ARIANE 4 ha nella sua memoria tutte le istruzioni necessarie per il suo viaggio. Il lanciatore non è quindi pilotato dal suolo ma è in grado di autoguidarsi: in ciascun istante il lanciatore conosce la sua posizione nello spazio e conseguentemente comanda tutte le operazioni necessarie al volo, quali lo spegnimento dei motori, la separazione dei singoli stadi in successione dopo il completamento del loro funzionamento, l'apertura della carenatura superiore per liberare i satelliti.

In questo lancio ITALSAT F2 ha occupato nella carenatura la posizione superiore e quindi si è separato da ARIANE 4 prima di Telecom 2D.

4. Immissione nell'orbita di parcheggio

Il lanciatore ha portato in orbita un carico di 4738 kg dei quali 4253 kg rappresentati dai due satelliti. La Tab. 1 riporta in dettaglio il carico del satellite ITALSAT F2.

⁽¹⁾ Il satellite Telecom 2D fornirà collegamenti per trasmissioni televisive e telefoniche tra la Francia metropolitana ed i Dipartimenti d'Oltremare, collegamenti di tipo dedicato per conto della Difesa e collegamenti per trasmissioni telefoniche, televisive e di dati sul territorio francese.

Massa al lancio	Piattaforma	715
	Carico utile	310
	Propellente	963
	Totale	1.988
Massa in orbita geostazionaria		1.200
Massa a secco di ITALSAT F2		1.025

Tabella 1 Massa del satellite ITALSAT F2 (kg).

La Tab. 2 mostra invece l'evoluzione del carico di ARIANE 4 nelle diverse fasi del lancio: in particolare impressiona il rapporto tra la massa iniziale del lanciatore e quella del carico utile, che è risultato essere di 113,3: in particolare la maggior parte della massa costituita da propellente è stata utilizzata nel primo stadio ed è servita per far attraversare al vettore l'atmosfera.

La fase più importante del lancio è iniziata 14 h e 30 min prima del comando della partenza. Sei minuti prima di dare questo comando è cominciata la sequenza relativa alla preparazione finale del lanciatore ed ai controlli necessari per passare in configurazione di volo (vedi Tab. 3): questa sequenza è completamente automatizzata ed è condotta in parallelo (sequenza sincronizzata) fino a cinque secondi prima del tempo zero dai due computer del centro di lancio: il primo predispone per il volo i propellenti ed i propulsori, effettuandone contemporaneamente i controlli. L'altro esegue la preparazione finale del sistema elettrico (accensione dei servomotori, commutazione da alimentazione al suolo a batterie sistemate sul lanciatore ...) e controlla al contempo il corretto funzionamento di tutto il sistema.

Il programma di lancio del sistema prevede infatti che qualsiasi arresto nella sequenza sincronizzata prima degli ultimi cinque secondi riporti ARIANE indietro, nella configurazione che precede gli ultimi sei minuti. Negli ultimi cinque secondi invece, non è più possibile fermare il lancio; al tempo zero è dato il comando di accensione dei motori del primo stadio e dei propulsori a combustibile liquido. E'

comandata successivamente l'apertura dei blocchi del piano di lancio che liberano il lanciatore a 4,1 s mentre il decollo avviene dopo 4,4 s sempre dal tempo zero. Tutte le fasi che seguono l'accensione dei propulsori sono riportate in Tab. 4.

In particolare, il distacco del satellite ITALSAT F2 da ARIANE è avvenuto dopo 20 min ed 11 s, mentre la missione del volo si è conclusa dopo soli 31 min, bruciando come si è già accennato circa 430 t di propellente.

5. Dall'orbita di parcheggio a quella di trasferimento ed alla posizione finale in orbita

Dopo la separazione del satellite dal lanciatore è stata avviata la fase, gestita da terra, per trasferire il satellite nella posizione prevista per ITALSAT F2 sull'orbita geostazionaria di 16,4° E (vedi appendice).

A questo scopo è stato anzitutto stabilito il colle-

Massa totale al decollo	481.621
Massa dopo la separazione del primo stadio	58.174
Massa dopo la separazione del secondo stadio	18.352
Massa dopo lo spegnimento del terzo stadio	6.839
Massa di ITALSAT F2	1.990
Massa di Telecom 2D (Francia)	2.263

Tabella 2 Profilo delle masse durante il volo (kg).

gamento tra il satellite con le stazioni a terra in successione (Malindi, Perth, Villafranca e Kourou): da queste stazioni sono stati inviati i comandi per accendere e configurare alcuni apparati di bordo (sottosi-

-14 h 30 min	Avvio del conto alla rovescia
-5 h 55 min	Ritiro della struttura di appoggio
-3 h 35 min	Inizio del riempimento del terzo stadio con ossigeno ed idrogeno liquido
-1 h 5 min	Avvio delle telemisure, del collegamento radar e dei telecomandi del lanciatore
-50 min	Passaggio del satellite in configurazione di lancio
-6 min	Inizio della sequenza sincronizzata tra i due computer (preparazione finale del lanciatore e avvio dei controlli per passare in configurazione di volo)
-3 min 40 s	Alimentazione da bordo del satellite
-1 min	Avvio dell'alimentazione da bordo del lanciatore
-5 s	Ritiro del braccio criogenico del lanciatore e inizio della trasmissione sequenziale degli impulsi per l'accensione dei motori del primo stadio e dei propulsori a propellente liquido

Tabella 3 Sequenza combinata degli eventi che precedono l'accensione dei propulsori.

0	Accensione
4,1 s	Apertura dei blocchi che liberano ARIANE dal piano di lancio (durata 5 s)
4,4 s	Decollo
13 s	Fine dell'ascensione verticale ed inizio dello spostamento automatico del piano di beccheggio della traiettoria (durata circa 10 s)
2 min 31 s	Sganciamento sequenziale a coppie dei quattro booster ausiliari del primo stadio
3 min 32 s	Spegnimento e separazione del primo stadio
3 min 35 s	Accensione del secondo stadio
5 min 43 s	Spegnimento e separazione del secondo stadio
5 min 48 s	Accensione del terzo stadio
6 min 40 s	Acquisizione del contatto radio con la stazione di Natal
8 min 30 s	Perdita del contatto radio con Kourou e Galliot
12 min 40 s	Acquisizione del contatto radio con l'isola di Ascension
12 min 50 s	Perdita del contatto radio con Natal
17 min 20 s	Acquisizione del contatto radio con Libreville
18 min 44 s	Spegnimento del terzo stadio
18 min 46 s	Avvio della fase di immissione nell'orbita di trasferimento geostazionaria (SCAR)
20 min 11 s	Separazione del satellite ITALSAT F2 dal lanciatore
22 min 8 s	Separazione della parte alta del contenitore dei due satelliti (SPELDA)
22 min 40 s	Acquisizione del contatto radio con Pretoria
25 min 7 s	Separazione del satellite francese Telecom 2D
30 min 20 s	Perdita del contatto radio con Libreville
31 min 1 s	Conclusione della missione ARIANE
29 min	Acquisizione del contatto radio con Malindi (Kenya)
43 min	Acquisizione del contatto radio con Perth (Australia)
2 h 20 min	Apertura parziale dei pannelli solari
37 h	Prima accensione del motore di apogeo
85 h	Dispiegamento dei pannelli solari

Tabella 4 Sequenza combinata degli eventi che seguono l'accensione dei propulsori.

stema di propulsione, di controllo d'assetto, di controllo termico), per orientare opportunamente il satellite verso il sole e per poi aprire parzialmente i pannelli solari.

In questa fase ITALSAT F2 ha descritto un'orbita di parcheggio circolare distante circa 200 km dalla terra.

Dopo circa 26 h dalla separazione da ARIANE, sono stati inviati i comandi per orientare il satellite verso terra. L'assetto del satellite è stato poi modificato in modo che l'asse di spinta del motore fosse tangente all'orbita descritta. Al termine di questa fase,

me, e che hanno l'obiettivo di verificare la rispondenza delle caratteristiche dei vari sistemi di bordo alle specifiche prescritte al costruttore Alenia Spazio dall'ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*), committente del satellite.

Dimensioni	Larghezza	Lunghezza	Altezza
Al lancio	2,3	2,44	3,48
In orbita di trasferimento	6,88	2,44	3,48
In orbita geostazionaria	24,03	5,89	3,48

Tabella 5 Caratteristiche del satellite Italsat F2 (m).

ITALSAT F2 ha cominciato a descrivere l'orbita di trasferimento (vedi Appendice). Successivamente è iniziata la procedura necessaria a rendere circolare l'orbita del satellite eliminando progressivamente l'inclinazione residua rispetto al piano equatoriale tramite l'accensione del "motore d'apogeo" del satellite in corrispondenza di passaggi all'apogeo.

Per effettuare alcune ulteriori correzioni di assetto sono state poi eseguite ulteriori manovre orbitali, mediante l'accensione dei motorini ausiliari di bordo. Durante questa fase sono stati anche inviati i comandi per aprire completamente i pannelli solari, e sono stati accesi sia gli altri sottosistemi sia il carico di telecomunicazioni. Le dimensioni del satellite dal momento del lancio a quello della immissione in orbita geostazionaria si sono modificate come riportato in Tab. 5. E' stata quindi avviata la fase di lento spostamento del satellite sull'orbita geostazionaria per portarlo a 16,4° E, posizione raggiunta il sette settembre.

6. Ulteriori operazioni in orbita geostazionaria

Il 10 settembre sono state avviate, nella posizione orbitale geostazionaria di 16,4° E, le prove di accettazione sul satellite ITALSAT F2, che avranno una durata di circa un

Telecom Italia, alla quale l'ASI ha concesso in uso il satellite, come nel caso di ITALSAT F1, potrà successivamente spostare se necessario ITALSAT F2 nella posizione di 13,2° E, oggi occupata da ITALSAT F1, per esigenze operative. Le diverse utilizzazioni saranno gradualmente trasferite sul nuovo satellite, mentre ITALSAT F1 sarà impiegato per eventuali ulteriori obiettivi, e manterrà funzioni di scorta per F2.

La vita utile di ITALSAT F1, prevista inizialmente in cinque anni dal lancio avvenuto nel gennaio 1991, sarà prolungata di circa un biennio tramite una manovra di risparmio del propellente che consiste nell'adottare requisiti meno stringenti per le manovre di stabilizzazione Nord-Sud del piano orbitale, e nel permettere quindi oscillazioni più ampie del satellite. In questa nuova configurazione operativa si potranno continuare ad utilizzare le prestazioni consentite da ITALSAT F1 solo con stazioni di terra dotate di un sistema di inseguimento del satellite (*tracking*).

Un impiego quindi del carico utile multifascio di ITALSAT F1, come riserva attiva, in presenza di una eventuale avaria su F2, non dovrebbe causare particolari problemi poiché le stazioni di terra per telefonia, oggi utilizzate, sono già munite di appropriati sistemi di inseguimento automatico del satellite.

7. Il segmento terreno di gestione e controllo

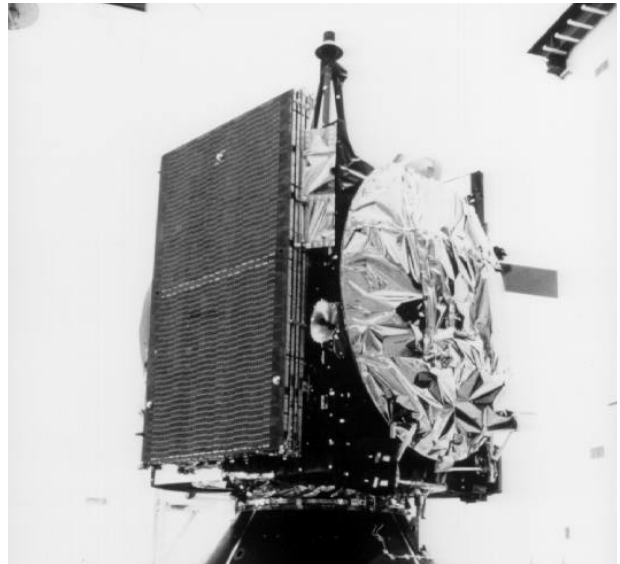
Per il controllo del traffico via satellite è stata realizzata una stazione "master" per la gestione del traffico telefonico, che dialoga con le altre dodici stazioni operative e che ha anche la capacità di svolgere traffico direttamente.

Sono state anche installate due stazioni per svolgere le funzioni di gestione in orbita delle due unità ITALSAT F1 e F2 (telemetria, telecomando e misure della posizione del satellite). Un centro di controllo, collegato alle due stazioni suddette, coordina le operazioni di gestione in orbita dei due satelliti.

Inoltre sono state poste in servizio due stazioni, Courmayeur e Cagliari, con funzioni di "beacon" (radio faro), per il puntamento automatico estremamente preciso ($\pm 0,03^\circ$) delle antenne di bordo del satellite⁽²⁾.

Questi impianti, con l'eccezione delle due stazioni di beacon, sono situati al Fucino e sono della Nuova Telespazio, esclusa la master che è di proprietà di Telecom Italia. Nuova Telespazio provvede anche alle attività di esercizio e manutenzione relative a questi impianti, in accordo con un contratto stipulato con Telecom Italia.

⁽²⁾ Nell'utilizzo del sistema multifascio il satellite è controllato in assetto con una precisione che non garantirebbe il corretto puntamento delle antenne di bordo se esse fossero completamente solidali con il satellite stesso.



Italsat F2 in configurazione di volo.

(Foto Alenia Spazio)

Appendice

Posizionamento di un satellite in un'orbita geostazionaria

Il satellite che si trova su un'orbita circolare ad un'altezza di 36.000 km compie un giro attorno all'asse terrestre (una *rivoluzione*) in 24 h.

Se la sua orbita si trova nel piano dell'Equatore e se la sua rotazione si compie nello stesso senso di quello della terra il satellite è *sincrono*: in questo caso esso ruota alla stessa velocità angolare e sorvola in permanenza lo stesso punto della terra (geostazionario); il satellite è quindi in una posizione fissa con le

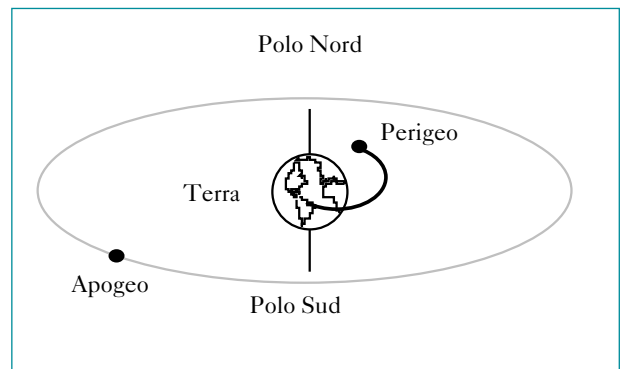


Figura 2 Lancio del satellite.

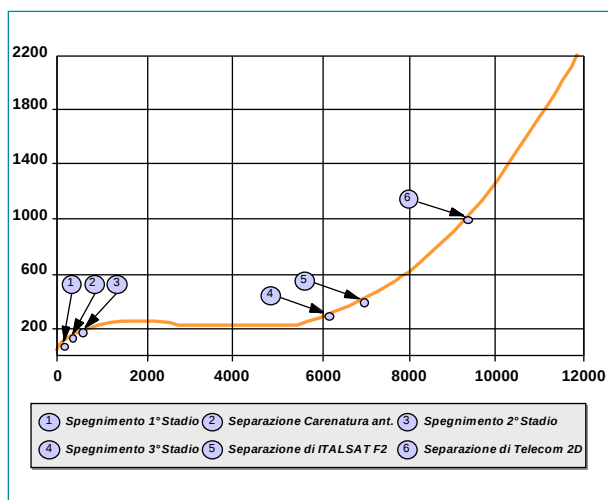


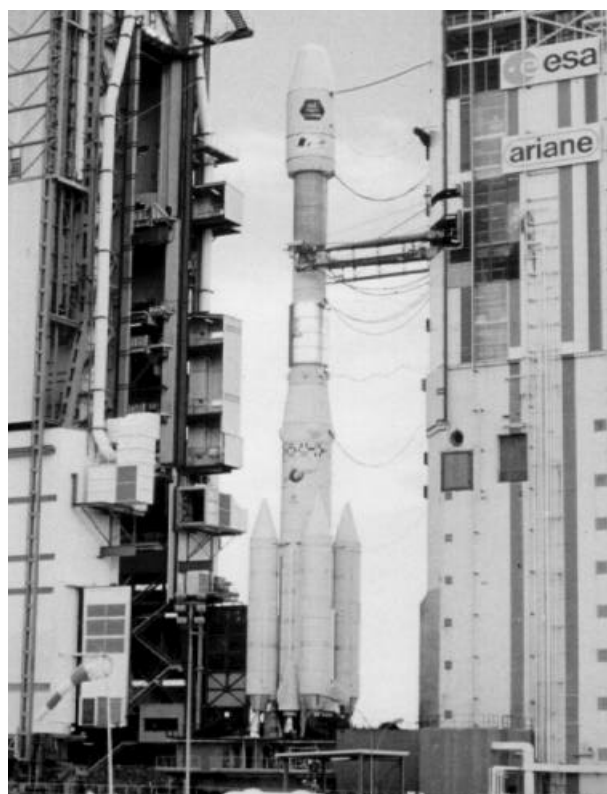
Figura 3 Traiettoria del vettore nella prima fase di lancio.

stazioni terrestri di trasmissione e ricezione, e può così stabilire comunicazioni permanenti.

Nella collocazione di un satellite da terra in un'orbita geostazionaria a partire da un lanciatore, quale l'ARIANE 4, possono essere distinte quattro fasi: la prima di *lancio*; la seconda di *parcheggio*; la terza di *trasferimento* e la quarta di *posizionamento*.

Nella *fase di lancio* il vettore posiziona il satellite al perigeo di un'orbita ellittica di trasferimento (fig. 2). Il satellite nello spazio è infatti sottoposto a due forze principali: la prima centripeta, dovuta all'attrazione della terra; la seconda centrifuga (o inerziale) che lo spinge lontano e che è funzione della velocità impressa dal lanciatore e della curvatura dell'orbita. Poiché la massa del satellite è trascurabile rispetto a quella della terra il periodo dell'orbita è, in pratica, funzione della velocità del satellite. Qualora la velocità impressa al satellite risultasse insufficiente, il satellite ricadrebbe sulla terra. Se invece si superasse l'attrazione della terra prima della separazione dal lanciatore, il satellite si perderebbe nello spazio. E' quindi necessario che il lanciatore imprima al satellite una velocità tale che si equivalgano le due forze su esso agenti, centripeta e centrifuga.

Il percorso seguito dal satellite durante la fase di lancio è mostrato nelle figg. 3 e 4: il primo stadio serve a portare il satellite fuori dall'atmosfera in modo da ridurre il più possibile l'esposizione all'attrito da essa prodotto. Il lanciatore parte quindi verticalmente, e segue una traiettoria iniziale



(Foto ARIANE SPACE)

Il vettore ARIANE 44L sulla rampa di lancio.

quasi verticale.

Il secondo stadio serve a modificare la traiettoria in modo da avvicinarla ad un'orbita parallela alla crosta terrestre; il terzo, che svolge le funzioni più complesse (fig. 4), permette al satellite di raggiungere il

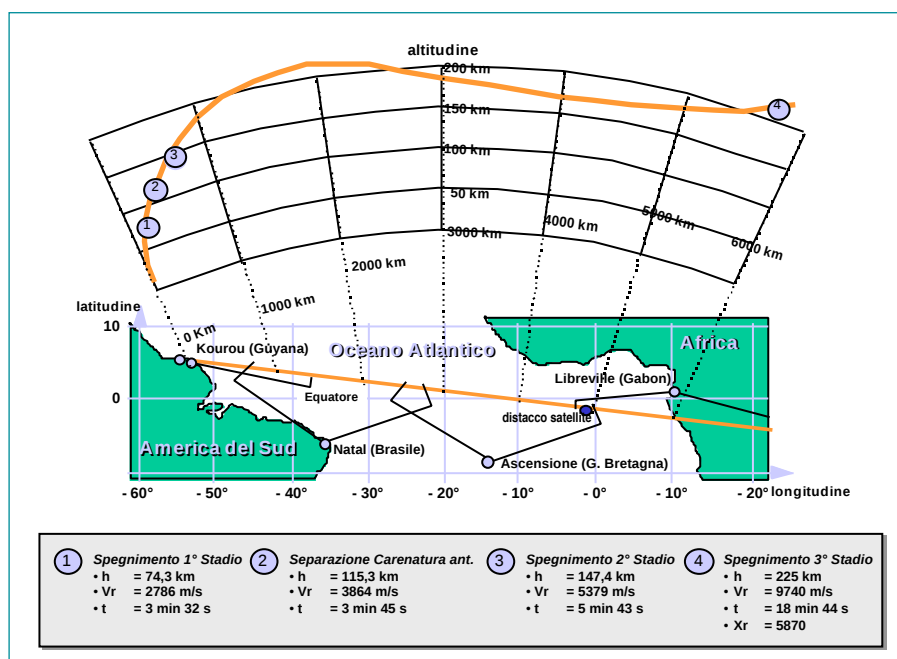


Figura 4 Traiettoria seguita da ARIANE 4 fino alla separazione da ITALSAT F2.

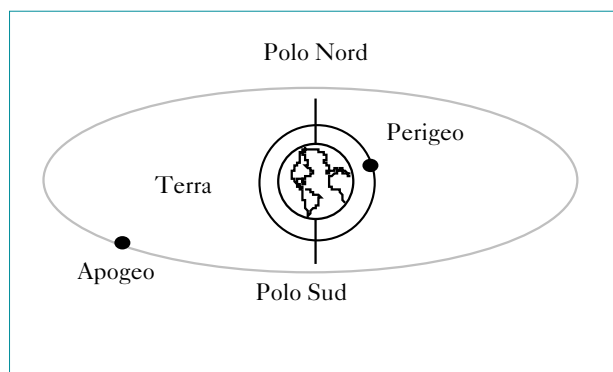


Figura 5 *Orbita di parcheggio.*

perigeo dell'orbita ellittica prestabilita: quando esso si stacca dal lanciatore si trova a circa 350 km dalla terra; raggiunge poi per inerzia una posizione nello spazio che è il perigeo di un'orbita ellittica, a 200 km circa di altitudine. Inizia poi la *fase di parcheggio* (fig. 5), limitata esclusivamente alla verifica della stabilità

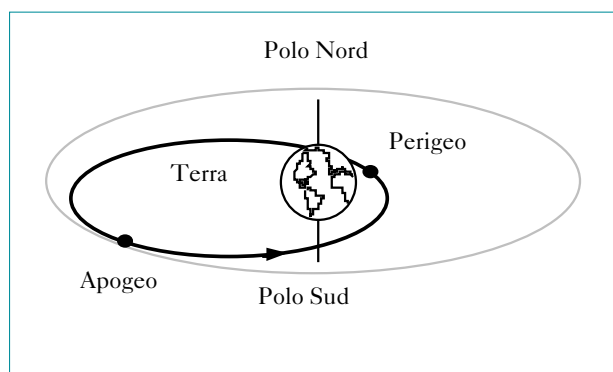


Figura 6 *Orbita di trasferimento.*

ed all'orientamento del satellite, che questo esegue dopo aver abbandonato il lanciatore.

Dopo queste verifiche il satellite abbandona l'or-

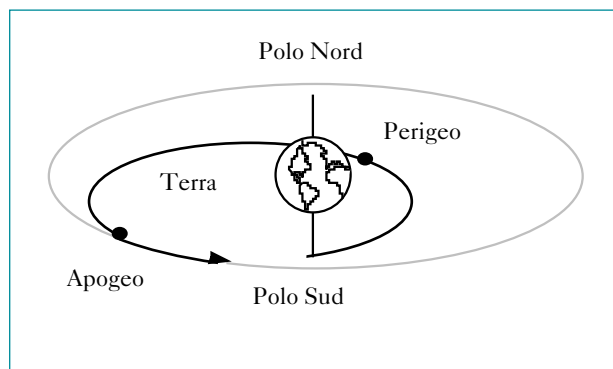


Figura 7 *Traslazione dall'orbita di trasferimento a quella geostazionaria.*

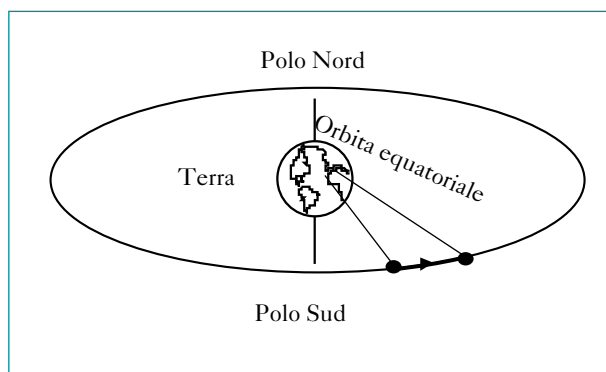
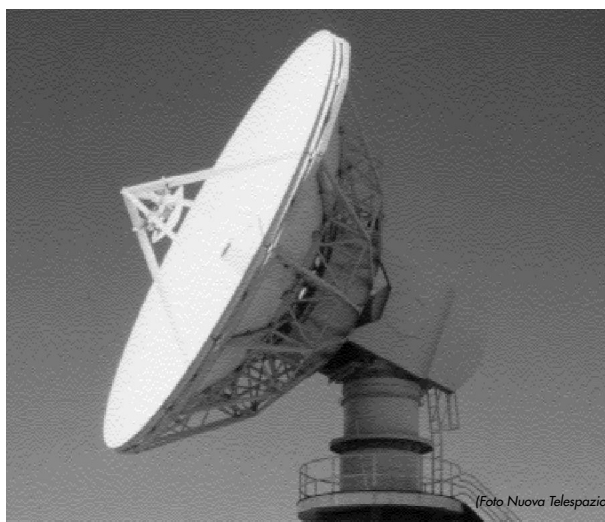


Figura 8 *Traslazione nella posizione definitiva nell'orbita geostazionaria.*

bita di parcheggio e comincia a percorrere un'orbita ellittica con perigeo, come si è detto, a circa 200 km ed apogeo a 36.000 km dalla terra, ed inizia la *fase di trasferimento* del satellite verso l'orbita finale. Questa fase (fig. 6) serve a modificare gradualmente l'orbita ellittica in un'orbita circolare geostazionaria. Quando il satellite è all'apogeo, ed è visto da due stazioni di terra, sono dati comandi dalle stazioni di terra al motore predisposto sul satellite in modo da cambiare l'orbita di trasferimento fino a portarlo su quella circolare nel piano equatoriale (fig. 7). Nel caso del satellite ITALSAT F2 questo è avvenuto al quarto ed al nono passaggio dall'apogeo.

La *fase di posizionamento* (fig. 8) è quella finale: essa inizia con il satellite che è già nell'orbita circolare geostazionaria e termina con l'allocatione del satellite nella posizione finale per esso prevista prima di entrare in servizio.



Antenna per la gestione della telemetria, controllo e misure della posizione del satellite.

La biografia dell'autore è riportata a pagina 28.

L'impiego del sistema ITALSAT in Telecom Italia

ENZO VITALI



Il Centro Spaziale del Fucino "Piero Fanti".

(Foto Nuova Telespazio)

1. Introduzione

ITALSAT F2 prosegue il programma avviato con ITALSAT F1, che ha l'obiettivo di collocare e mantenere il sistema italiano delle telecomunicazioni in posizione di avanguardia nel campo delle trasmissioni via satellite, anche grazie alle tecnologie sensibilmente innovative utilizzate quali quelle relative alla commutazione a bordo, alla presenza del sistema *EMS (European Mobile System)* per le comunicazioni mobili ed all'impiego di bande di frequenze intorno o superiori a 20 GHz, per il collegamento tra le stazioni di terra ed il satellite.

Il sistema ITALSAT è infatti il primo che utilizza operativamente a livello globale queste bande; esse saranno adottate nei satelliti di prossima generazione, in quanto consentono di superare la saturazione oggi esistente nelle bande di frequenza inferiori.

Le unità di volo ITALSAT F1 ed F2 hanno a bordo due carichi utili di telecomunicazioni che coprono l'intero territorio nazionale: il primo, attraverso una copertura a sei fasci, è chiamato carico utile multifascio; il secondo, con copertura ellittica, è denominato carico globale.

2. Utilizzo del sistema multifascio

2.1 Situazione presente

Il sistema multifascio è stato progettato principalmente per essere integrato con la rete telefonica pubblica. Telecom Italia già utilizza questo pacco sull'I-

TALSAT F1, e tra breve impiegherà anche quello analogo sistemato a bordo di ITALSAT F2, come integrazione della rete di giunzione interdistrettuale terrestre per il traffico di trabocco nazionale.

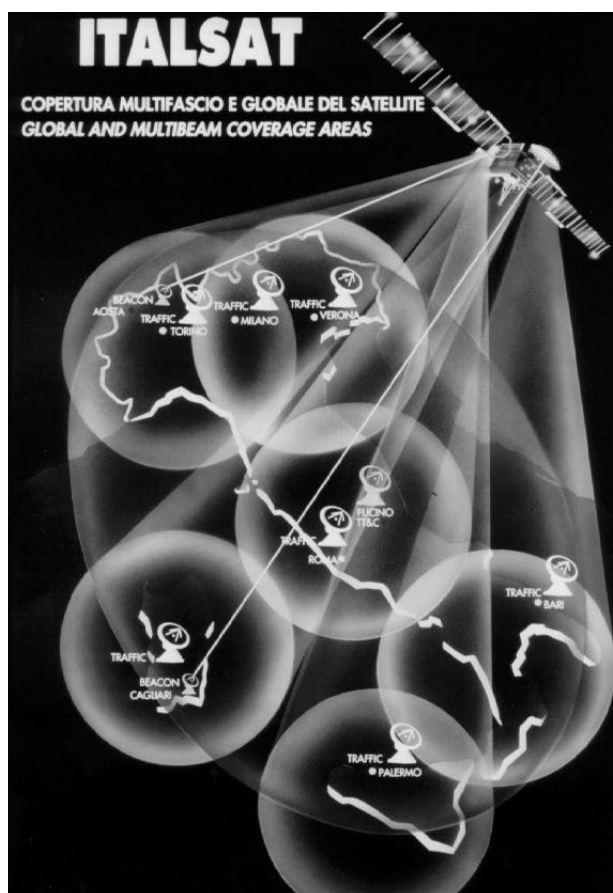
Il carico (payload) multifascio dei satelliti ITALSAT comprende sei trasponditori rigenerativi che realizzano la copertura a "spot" del territorio nazionale, ed una matrice di commutazione comandata da un microprocessore. I collegamenti a radiofrequenza sono realizzati in banda Ka (20/30 GHz), tramite una tecnica di accesso verso il satellite del tipo *TDMA (accesso multiplo a divisione di tempo)* con una trama di 32 ms e una velocità di cifra pari a 147,45 Mbit/s.

A bordo del satellite il segnale a radiofrequenza con il flusso dati di ogni "spot" è convertito a frequenza intermedia ed è demodulato. La connessione tra spot è realizzata dalla matrice, che opera in banda base, e che restituisce in uscita sei flussi numerici, uno per spot, all'interno dei quali le informazioni dei singoli canali sono multiplate nel tempo (TDM).

La capacità massima del carico utile multifascio telefonico che può essere commutata a bordo di ITALSAT F2 è pari a 12000 circuiti full-duplex, compresi a 32 kbit/s: possono essere così permutati 12000 ingressi su altrettante uscite.

Il sistema multifascio è in grado di fornire, come è chiarito in [1] i seguenti servizi:

- fonia a 32 kbit/s con ADPCM, compatibile con trasmissione dati a 9,6 kbit/s. Il servizio può essere fornito in modo semipermanente o su domanda; in par-



(Foto Alenia Spazio)

Copertura ITALSAT multifascio e globale.

icolare può essere usata la tecnica Digital Speech Interpolation (DSI) per aumentare questa capacità;

- dati nx64 kbit/s, in modo semipermanente con n variabile da uno a trenta;
- videoconferenza fino a 2 Mbit/s, fornita in modo semipermanente.

Il segmento terrestre è realizzato da sette stazioni di Telecom Italia integrate nella rete pubblica nazionale, gestite dalla stazione Master posta al Fucino, che svolge il ruolo anche di ottava stazione: esse sono oggi operative su ITALSAT F1 e sono in grado di trattare direttamente il traffico proveniente dai sistemi terrestri.

Ciascuna di queste stazioni ha oggi una capacità di quattrocentottanta terminazioni a 64 kbit/s lato rete terrestre, comprese poi, come si è già accennato, a 32 kbit/s sul lato della rete connessa ai collegamenti via satellite. La capacità di ogni stazione è espandibile fino a circa duemila terminazioni a 64 kbit/s.

La capacità globale delle otto stazioni di terra nella configurazione oggi disponibile è di milleottocento circuiti full-duplex a 64 kbit/s, che permettono quindi altrettante comunicazioni contemporanee.

Il segmento terrestre sarà espanso inserendo in rete cinque nuove stazioni entro i primi mesi del 1997: la capacità della rete terrestre ITALSAT sarà così portata a circa tremila circuiti telefonici a 64 kbit/s full-duplex.

Ogni stazione di terra è connessa alla rete trasmissiva terrestre tramite un *Sottosistema Telefonico di Commutazione (TLNE)* che gestisce centoventotto giunzioni a 64 kbit/s: questo sottosistema riceve flussi dalla

rete terrestre a 2,048 Mbit/s, tratta la segnalazione relativa a ciascun flusso, comprime ciascun circuito da 64 a 32 kbit/s, ed infine lo instrada verso il mezzo satellite.

Quest'ultima funzione è svolta da un dispositivo che permette di interconnettere la rete per telecomunicazioni terrestri in banda fonica al terminale di stazione che accede alla risorsa spaziale a più alta velocità di cifra (147,456 Mbit/s per spot), denominata *TIP (Terrestrial Interface Port)*, del TDMA. Ciascun dispositivo converte da 64 a 32 kbit/s due fasci full duplex entrambi costituiti da sessantaquattro canali.

Tutte le stazioni sono collegate ad una o più centrali SGT. Con la configurazione oggi disponibile il traffico verso il satellite in uscita da una stazione di terra ITALSAT proviene da più SGT ad essa connessi; mentre il traffico in entrata è diretto verso un solo SGT connesso alla stessa stazione: in questo modo è possibile smaltire il traffico di trabocco di più SGT, relativo ad un sottoinsieme di prefissi di destinazione, facendolo convergere su un SGT "instradante" connesso alla stazione di terra ITALSAT di arrivo.

Ciascuna nuova stazione in corso di realizzazione comprende un'antenna a parabola di tipo Cassegrain con ottica centrata, di diametro 3,3 m e con potenza trasmissiva di circa 76 dBW. Sono inoltre presenti due unità, la prima per interno, la seconda per esterno (shelter), con apparati in grado di convertire il segnale trasmissivo proveniente dalla rete terrestre in quello idoneo alla trasmissione via satellite e viceversa. L'unità esterna, situata in prossimità dell'antenna, contiene gli apparati ed i sottosistemi (elaboratori di sistema, apparati TDMA, TIP, modem ...) ad eccezione del sottosistema telefonico di commutazione (TLNE) installato nell'unità situata all'interno dell'edificio.

Le sette stazioni periferiche e la stazione master del Fucino sono oggi connesse a diciassette SGT; nella Tab. 1 è riportata la situazione finale sulla localizza-



(Foto Nuova Telespazio)

Stazione "master" per il traffico.

<i>Stazioni Attuali</i>	<i>SGT Connessi</i>
Roma Laurentino	CTRL 1 Inviolatella
Torino Avigliana	Lancia Leumann Alessandria Novara
Cagliari Pula	CEP1 Olbia
Bari Via Oreste	Dogali Brindisi Catanzaro
Palermo Portella	Mignosi 2 Catania Beccaria Catanzaro
Verona Arena	Arena
Milano Malpaga	Bersaglio
Fucino (Master)	Pescara

<i>Nuove Stazioni</i>	<i>SGT Connessi</i>
Bergamo Campagnola	Bergamo Pavia
Trieste Monteradio	Trieste Udine
Bologna Corticella	Bologna Rimini
Pisa Figuetta	Pisa Firenze Rifredi
Potenza (ferrovia)	Napoli Tupputi Catanzaro

Tabella 1 Stazioni di terra ITALSAT e collegamenti con gli SGT.

zione delle stazioni, comprese le cinque nuove sudette, e sui collegamenti con gli SGT.

2.2 Ulteriori possibilità d'impiego del sistema multifascio

Per incrementare l'utilizzazione del sistema multifascio ITALSAT, è anzitutto in corso di valutazione la possibilità di predisporre piani di traffico diversificati per i differenti periodi dell'anno, in modo da utilizzare la risorsa pregiata fornita dal satellite per smaltire non solo il traffico di trabocco ma anche punte di traffico stagionali. Un impiego di questo tipo è già stato realizzato per il traffico estivo dalla Direzione Territoriale di Rete C2 di Telecom Italia (Abruzzo, Lazio e Sardegna).

E' inoltre in corso di esame la possibilità di acquisire dispositivi di interconnessione che permettano di gestire, tramite le stazioni multifascio ITALSAT, oltre

ai flussi a 2 Mbit/s, anche quelli ad 8 o a 34 Mbit/s. In questo modo il pacco multifascio potrebbe essere impiegato anche per la trasmissione di dati o per il trasporto di segnali televisivi, sfruttando la capacità disponibile a bordo del satellite.

3. Utilizzo del sistema ITALSAT a copertura globale

3.1 Impieghi attuali

Il pacco presente su ITALSAT F1 per la copertura globale è già da tempo utilizzato per la realizzazione di un collegamento internazionale Italia-Bosnia relativo a centottanta circuiti full-duplex. Per questa connessione in Italia è impiegata un'antenna dedicata fissa, del diametro di 2,7 m. In Bosnia invece sono utilizzate quattro stazioni fisse, tre operative ed una di scorta, ciascuna con un'antenna di diametro di 1,2 m ed una capacità di sessanta canali.

Questo stesso pacco è stato finora impiegato anche per prime sperimentazioni di teledidattica, di telemedicina e per il trasferimento elettronico di pellicole di film da un centro verso sale cinematografiche remote (cinema elettronico).

Questi impieghi saranno trasferiti sull'analogo pacco del satellite ITALSAT F2.

Il carico utile globale è composto da tre trasponderi trasparenti: ogni trasponditore ha una banda utile di 36 MHz ed un amplificatore ad onda progressiva (TWTA: *Travelling Wave Tube Amplifier*) da 20 W a radio frequenza. Il carico utile consente trasmissioni in tecnica analogica o numerica con terminali d'utente con diametri dell'antenna che vanno da 1,2 a 1,8 m e potenza trasmessa da 5 a 25 W, a seconda della specifica applicazione. L'area di servizio è centrata sull'Italia, ma la copertura si estende anche su diversi paesi limitrofi.

3.2 Ulteriori possibilità di impiego

E' in corso di valutazione lo sviluppo di mezzi mobili con capacità variabile da uno a tre flussi a 2 Mbit/s per servizi di telefonia di base, telefonia pubblica e trasmissione dati da utilizzare per collegamenti con ITALSAT F2 in caso di eventi eccezionali, disastri, emergenze di vario tipo o punte di traffico programmate quali, ad esempio, quelle che si presentano in coincidenza con importanti manifestazioni, "summit politici" o anticipi di sviluppi di rete. Le diverse possibili tecniche per i mezzi mobili includono soluzioni del tipo antenna "fly away", antenna su carrello separato oppure antenna completamente integrata sul veicolo.

Per valutare queste applicazioni è stata avviata una sperimentazione che ha l'obiettivo di verificare la possibilità di utilizzare il satellite anche per collegare utenze remote ISDN o terminali di telefonia pubblica, oltre all'impiego per connessioni della trasmissione fonica tradizionale, già provato con esito positivo nel corso di una precedente sperimentazione conclusa nell'ottobre del 1994. A questo scopo sarà utilizzata una postazione, che simula un'unità

mobile collegabile al satellite e che normalmente è collocata su un veicolo, ma che in questo caso è ubicata nella sala per la gestione dei satelliti ITALSAT del Centro Telecomunicazioni Roma Laurentino; ad essa saranno collegati i terminali ISDN e di telefonia pubblica.

Per contribuire poi allo sviluppo ed alla standardizzazione di servizi multimediali interattivi basati sulla integrazione di collegamenti via satellite con quelli terrestri, Telecom Italia e Nuova Telespazio stanno congiuntamente cooperando ad un progetto pilota a livello di rete mondiale che, per la parte Europea, è promosso dalla CEE. La dimostrazione, che dovrebbe essere effettuata nel corso del 1997, è orientata su applicazioni quali, ad esempio, la telemedicina, la telerilevazione delle risorse ambientali, la trasmissione dei "musei virtuali": oltre ad altri mezzi trasmissivi, quali i cavi sottomarini ed i satelliti Intelsat, è previsto infatti in Europa l'impiego del fascio a copertura globale dell'ITALSAT F2 per interconnettere le varie LAN.

Il mezzo satellite, impiegato in banda Ka, apporterà benefici in termini di flessibilità operativa (distribuzione e ricezione di segnali a larga banda, collegamenti a due vie, vasta area di copertura, rapidità e semplicità di configurazione di strutture di rete alternative) e sostanziali vantaggi economici rispetto a soluzioni di trasporto effettuate solo mediante la rete terrestre.

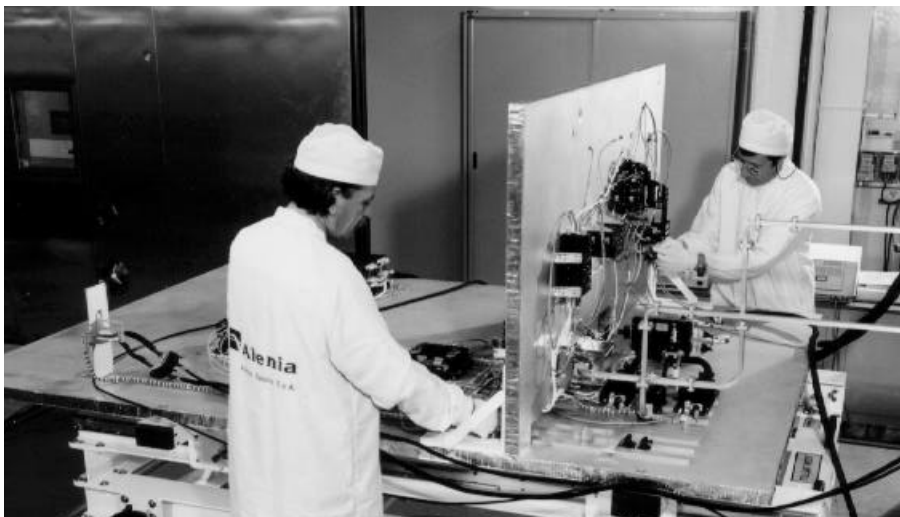
Dovrebbe infine divenire presto completamente operativa l'attuale sperimentazione per applicazioni del tipo "cinema elettronico", già accennate in precedenza.

4. Utilizzazione del pacco EMS dell'ITALSAT

Sull'ITALSAT F2 è stato infine previsto il sistema di telecomunicazioni EMS per le comunicazioni mobili che sostituisce quello per esperimenti di propagazione a 40/50 GHz, presente sul satellite ITALSAT F1. Questa variante costituisce la principale differenza tra i carichi a bordo dei due satelliti: il sistema EMS, che opera alle frequenze Ku (12-14 GHz) per il collegamento tra le stazioni fisse ed il satellite, ed a quelle della banda L (1,5-1,6 GHz) per il collegamento tra gli utenti mobili ed il satellite, è stato sviluppato dall'ESA (*European Space Agency*) nell'ambito di un accordo con l'ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*).

Il carico EMS trasmette e riceve segnali in banda L attraverso le due antenne multifascio: la prima riceve, l'altra trasmette, mentre i segnali in banda Ku sono ricevuti e trasmessi con un'antenna montata sul piano superiore del satellite.

EMS sarà in grado di trasmettere simultaneamente comunicazioni foniche, di dati ed in facsimile fino a trecento canali ad una velocità di 2400 bit/s. Esso è stato concesso in uso alla Nuova Telespazio per la commercializzazione di servizi via satellite per voce e dati con mezzi mobili, e dovrebbe assicurare il servizio delle Regioni Europee, del Nord Africa e della Turchia.

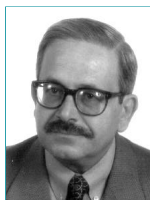


Preparazione del carico utile EMS.

(Foto Alenia Spazio)

Bibliografia

- [1] Marconicchio, F.: *Il satellite ITALSAT F2*. Su questo numero del «Notiziario Tecnico Telecom Italia».



Enzo Vitali, dopo un periodo di otto anni svolto in Telespazio, dove si è occupato di studi sui sistemi di telecomunicazioni via satellite e di rapporti con le Organizzazioni Internazionali, ha operato (1978-'83) nel Consorzio Eutelsat (Parigi) come Direttore di Divisione responsabile di numerose attività quali la pianificazione operativa, il traffico, i servizi, i rapporti con l'utenza, i sistemi di gestione del traffico Dal 1984 al 1994 ha preso parte, per conto di Telespazio, ai Consigli di

Amministrazione dei tre Consorzi Satellitari: Eutelsat, Intelsat ed Inmarsat assumendo per gli anni 1992-'94 la carica di Presidente del Consiglio di Amministrazione del Consorzio Intelsat. Dal 1995 opera in Telecom Italia ove coordina la partecipazione nei tre Consorzi suddetti ed è il rappresentante Telecom Italia nei tre Consigli di Amministrazione. E' inoltre responsabile delle attività di pianificazione del sistema Italsat per quanto riguarda l'acquisizione e l'uso della capacità spaziale e delle stazioni di terra e delle attività di acquisizione di impianti di stazione di terra operanti sul sistema Inmarsat. Ha partecipato alle attività di diverse Organizzazioni e Commissioni di studio nazionali ed internazionali (CEPT, ESA, CEE, ITU).

ATM: modelli dei protocolli e funzioni di rete

ENZO GARETTI
ROMOLO PIETROIUSTI
FEDERICO M. RENON

Questo articolo è la terza parte di un lavoro introduttivo nell'ambito della serie che il "Notiziario Tecnico" sta dedicando alla tecnica ATM.

In particolare, sono qui presentati gli aspetti dei protocolli e quelli di funzionamento delle reti ATM: partendo dall'articolazione in piani e livelli del modello generale di protocollo, il fuoco è posto sulle modalità di funzioni e protocolli connessi al trasporto dell'informazione; si sintetizzano quindi le caratteristiche principali dei livelli fisico e trasmissivo, ATM e di adattamento, con particolare riguardo alle funzioni del livello ATM (commutazione di cella e categorie di trasporto).

Sono anche descritte brevemente le funzioni dei piani di controllo e gestione.

1. Introduzione

La tecnica ATM costituisce un elemento importante nel processo di convergenza in atto dei settori delle telecomunicazioni, della tecnologia dell'informazione e della distribuzione televisiva. Le prime applicazioni di questa tecnica hanno riguardato e tuttora riguardano prevalentemente l'utenza affari; tuttavia si prevede che nel prossimo futuro si verificherà una crescita significativa di applicazioni riguardanti l'utenza residenziale. L'espansione di Internet e dei servizi multimediali di tipo sia diffusivo sia interattivo (dalla diffusione televisiva numerica al "video on demand") darà luogo ad una crescente esigenza di capacità di trasporto e renderà sempre più giustificabile economicamente, per i gestori TLC, la realizzazione di reti di trasporto ATM. L'impiego efficace di questa tecnica costituirà quindi un fattore competitivo importante per una offerta di capacità adeguata ad un contesto di ampia diffusione dei servizi a larga banda. Questa linea di tendenza si sta già manifestando nella competizione in atto fra i principali fornitori di trasporto per servizi Internet (AT&T, MCI, Sprint, Pacific Bell ecc.).

Le prospettive di sviluppo dell'ATM come tecnica di commutazione e trasporto per la futura rete a larga banda sono legate alle sue caratteristiche salienti; cioè: possibilità di fornire grande capacità su domanda, trattamento in modo unificato, e secondo standard che facilitano la connettività aperta [1], di voce, dati ed immagini, elevate prestazioni in termini di qualità del servizio e di disponibilità dei collegamenti.

In effetti, come descritto in [2], la scelta dei parametri fondamentali della tecnica è derivata da com-

promessi fra esigenze, anche contrastanti, dei diversi servizi ed applicazioni. Pur non risultando quindi ottimizzato per uno specifico servizio o una particolare applicazione, l'ATM è stato progettato per trattare in modo integrato informazioni di diverso tipo e di diverse caratteristiche, e si propone come elemento unificante per la realizzazione di infrastrutture di rete flessibili e ad alta capacità, adatte quindi a soddisfare le esigenze emergenti di multimedialità e forte interattività, nonché aperte al supporto di servizi futuri, non ancora concepiti.

Questo articolo è, nell'ambito della serie che il "Notiziario Tecnico" sta dedicando ad ATM, la terza parte di un lavoro introduttivo, inteso a fornire una prima panoramica sui fondamenti e concetti principali della tecnica.

Nella prima parte [2] sono state riassunte le principali motivazioni alla base dell'ideazione e dello sviluppo dell'ATM e ne sono stati descritti i principi fondamentali, inquadrandoli nel contesto generale di rete integrata a larga banda (B-ISDN); nella seconda parte [3] sono state brevemente esaminate alcune delle più importanti questioni (qualità del servizio, sincronizzazione, possibili applicazioni) connesse con l'impiego in rete della nuova tecnica.

Questa terza parte, sulla base dei concetti generali già delineati, intende trattare in modo più puntuale la struttura della cella ATM, i suoi campi componenti e le funzioni di rete ad essi connesse, ed il modello dei protocolli, articolato per piani e livelli. Sono poi riportate una breve descrizione dei piani di utente, di controllo e di gestione ed una sintesi delle caratteristiche principali dei vari livelli (fisico, ATM, di adattamento

e superiori). In modo particolare sono descritte le funzioni specifiche del livello ATM, il concetto di commutazione di cella e quello di categoria di servizio. Le funzioni dei livelli superiori del modello di protocollo relativi al piano utente (applicativi), al piano di controllo (relativo alle procedure e ai protocolli di segnalazione) e al piano di gestione (comprendente sia le funzioni di gestione di rete sia quelle di gestione di servizi) sono trattati solo in termini generali, rimandando la descrizione con maggior approfondimenti su queste tematiche ai successivi articoli di questo ciclo.

2. Richiami sui principi della tecnica ATM

La tecnica ATM si basa sulla segmentazione dei diversi flussi informativi in una sequenza di blocchi elementari e sulla inserzione di questi in pacchetti di lunghezza fissa, denominati celle, concepiti come unità di trasporto elementari nella rete di telecomunicazioni.

Ciascuna cella è composta, come rappresentato in fig. 1, da una parte di intestazione (*header*) di 5 ottetti e da un carico utile (*payload*) di 48 ottetti. La lunghezza della cella è risultata da un compromesso a livello internazionale fra diverse esigenze e rispecchia la tendenza a trattare in modo univoco e flessibile informazioni di diverso tipo e di diverse caratteristiche, piuttosto che ad avere una soluzione ottimizzata per una particolare classe di applicazioni[1]. La parte di intestazione della cella ATM contiene una "etichetta" per la sua identificazione ed una serie di campi con funzionalità legate alle esigenze del trasporto nella rete ATM; il resto della cella contiene le informazioni (dati, voce, video) da trasportare, che vi sono inserite, corredate di elementi di protocollo aggiuntivi connessi alle esigenze degli specifici servizi (funzioni AAL).

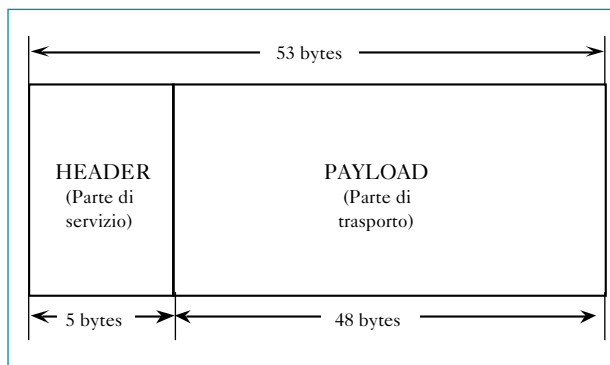


Figura 1 Struttura della cella.

La moltiplicazione ATM è a divisione di tempo asincrona, nel senso che le celle di una determinata connessione non sono assegnate ad una particolare posizione temporale nella trama trasmissiva, come nei sistemi di trasporto sincrono (*STM, Synchronous Transfer Mode*), ma sono trasmesse nell'ordine della loro generazione mescolandole a quelle di altre comunicazioni (con una moltiplicazione cosiddetta statistica). L'associazione di una cella ATM ad una particolare

comunicazione avviene tramite un identificativo di connessione virtuale, contenuto nell'intestazione della cella, che costituisce l'etichetta. Non esiste pertanto alcuna relazione temporale fissa per l'allocazione delle celle corrispondenti alle singole comunicazioni sul flusso aggregato (o flusso multiplex). Alle varie comunicazioni può essere assegnato in linea di principio qualunque valore di banda (nei limiti ovviamente della capacità del flusso multiplex), in quanto esso corrisponde semplicemente alla frequenza delle celle con l'etichetta associata alla specifica comunicazione. Sui collegamenti trasmissivi di una rete ATM (realizzati solitamente tramite sistemi ad alta velocità di cifra, da 25 a 622 Mbit/s) possono quindi essere trasmesse celle appartenenti a più connessioni (dette *connessioni virtuali*) indipendenti e con diversa capacità.

L'instradamento delle celle ATM si basa sull'identificativo di connessione virtuale che consente ad ogni nodo di rete di individuare questa connessione all'interno di un flusso multiplex e di effettuarne la commutazione instradando le celle corrispondenti attraverso la rete verso la destinazione finale. Analogamente al caso della commutazione di pacchetto classica, gli identificativi di connessione virtuale hanno valore limitato ad una tratta (nodo-nodo) della rete; l'assegnazione dell'insieme degli identificativi relativi alle varie tratte su cui si articola una connessione, come pure l'associazione tra identificativi di ingresso e di uscita nei nodi, avvengono all'atto della instaurazione della connessione stessa. Al termine della durata della connessione, i valori degli identificativi sono resi disponibili per una nuova chiamata, il che consente di mantenere limitata la lunghezza degli identificativi stessi.

La dimensione fissa della cella consente di effettuare in hardware le operazioni di commutazione nei nodi e quindi di ottenere elevate capacità di smaltimento del traffico (centinaia di Gbit/s). Nei nodi di rete non sono previsti controlli di errore sul campo informativo della cella; essi sono demandati ai livelli di protocollo superiori a quello ATM, nell'assunzione che le prestazioni dei sistemi trasmissivi e dei nodi di commutazione siano abbastanza elevate da non compromettere la qualità complessiva della connessione.

Alla luce dei principi generali su richiamati, si comprende come la tecnica ATM abbia tratto origine dalle tecniche a pacchetto tradizionali, mutuandone i punti di forza, ma beneficiando anche delle possibilità offerte dalle nuove tecnologie e in particolare, in campo trasmissivo, dall'avvento dei portanti ottici e, nel campo del trattamento dei flussi informativi, dagli sviluppi della componentistica elettronica.

3. Struttura e funzioni dell'intestazione della cella ATM

3.1 L'intestazione della cella ed il controllo degli errori

L'intestazione di cella ATM comprende come si è detto cinque ottetti ed è suddivisa in un certo numero di campi di servizio ed un campo di controllo; i campi di servizio sono collocati nei primi quattro ottetti, mentre il campo di controllo è collocato nell'ultimo ottetto e si chiama *Header Error Control, HEC*.

Sono previsti due formati dell'intestazione: uno per l'interfaccia fra i terminali o i sistemi d'utente e la rete (*User-to Network Interface, UNI*), l'altro per l'interfaccia fra nodi della rete o fra due reti (*Network Node Interface, NNI*).

I due formati, riportati rispettivamente nelle parti a e b della fig. 2, sono identici tranne che nel primo otetto, che nel caso UNI è per metà impiegato per funzioni di controllo dei flussi delle celle (*Generic Flow Control, GFC*) e per metà è usato per identificare i percorsi virtuali (*Virtual Path Identifier, VPI*), mentre nel caso NNI è interamente impegnato come identificatore VPI.

L'intestazione della cella ATM contiene le informazioni che consentono alla rete ATM di trasferire il carico informativo dalla sorgente alla destinazione: esse pertanto sono informazioni critiche dal punto di vista del corretto instradamento e della sicurezza delle informazioni; un errore nell'intestazione (negli identificativi di connessione ad esempio) potrebbe indirizzare la cella verso una destinazione errata. Errori possono verificarsi a livello trasmissivo, o per il non corretto funzionamento del meccanismo di sincronizzazione e riconoscimento delle celle, ovvero per errori nella commutazione delle celle. Infatti, come vedremo successivamente, la moltiplicazione e la commutazione delle celle nei nodi di rete comporta, oltre alla commutazione propriamente detta, una operazione di

traslazione/cambiamento degli identificativi di connessione, che può introdurre errori.

Per questo motivo è stato definito un meccanismo molto robusto di controllo degli errori sul contenuto della intestazione, che utilizza il campo HEC ed è in grado sia di rivelare gli errori sia, quando possibile, di correggerli. Questo meccanismo di controllo si attua tratta per tratta nei nodi della rete, secondo modalità che saranno chiarite nel seguito.

Infatti la cella ATM non contiene meccanismi di controllo dei dati d'utente trasportati nella parte payload della cella stessa. Il controllo degli errori su questi dati è fatto al livello superiore a quello ATM, cioè al livello AAL; le celle con errori nel payload sono comunque trasportate a destinazione ed operazioni come la ritrasmissione di dati d'utente affetti da errori sono fatte da estremo ad estremo della rete ATM in modo esterno alle funzioni dell'intestazione di cella. Il controllo degli errori sulle informazioni trasportate fatto ai bordi della rete è un aspetto caratteristico che differenzia l'ATM dalle tradizionali reti a pacchetto, per le quali il controllo degli errori e la eventuale ritrasmissione delle informazioni affette da errori avviene invece tratta per tratta fra i nodi della rete. Questa caratteristica dell'ATM è mirata ad aumentare la velocità di smaltimento del traffico (throughput) ed è motivata sia dalla piccola dimensione della cella, e conseguentemente dal relativo scarso effetto causato da una sua eventuale ritrasmissione sul traffico complessivo della rete, sia dalla elevata qualità dei sistemi trasmissivi in genere impiegati (ad esempio fibra ottica) e quindi dalla bassa probabilità di presenza di errori trasmissivi nelle informazioni trasportate dalle celle.

3.2 I campi e le funzioni dell'intestazione della cella

Analizziamo adesso brevemente la struttura e le funzioni dei vari campi dell'intestazione della cella.

Campo GFC

Il campo GFC è costituito da *quattro bit* ed è presente come si è detto solo alla interfaccia UNI: esso consente l'attivazione di meccanismi di controllo di flusso fra sistema d'utente e nodo locale, allo scopo di limitare possibili perdite di dati dovute a differenti capacità di trasmissione/ricezione tra queste due entità.

Le funzioni GFC si basano su due possibili algoritmi di controllo di flusso: il primo opera semplicemente arrestando e riprendendo ciclicamente la trasmissione in base a comandi scambiati tramite opportune codifiche del campo GFC; il secondo effettua un controllo più sofisticato basato su contatori di crediti di trasmissione (riferiti ad uno o più gruppi di connessioni), gestiti a loro volta tramite codifiche GFC.

Campi VPI e VCI

Il campo VPI è usato come identificativo di percorso virtuale. Esso è costituito, alla UNI, da *otto bit*, consentendo quindi l'identificazione di $2^8 = 256$ percorsi virtuali; alla NNI è costituito da *dodici bit*, che

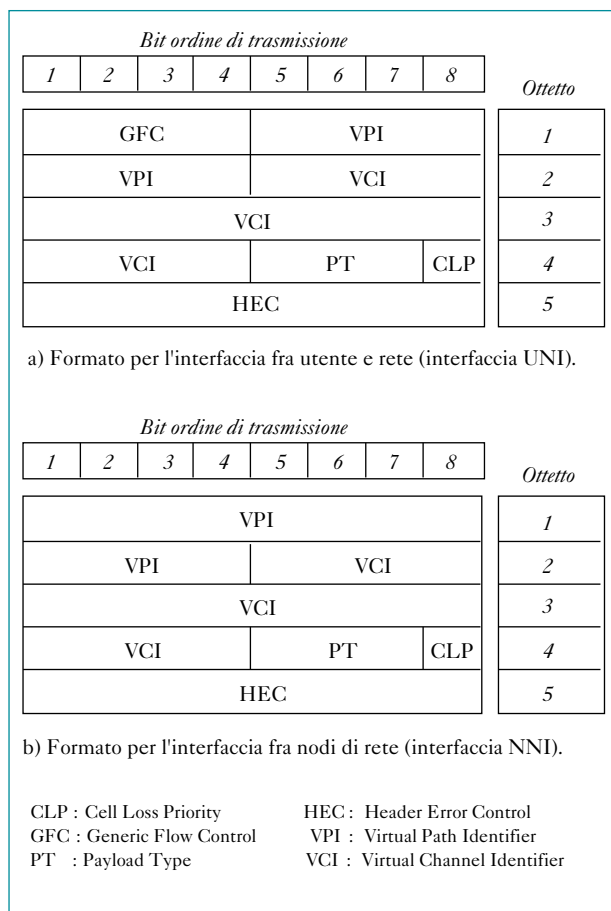


Figura 2 Intestazione della cella ATM.

permettono l'identificazione di $2^{12} = 4096$ percorsi virtuali.

Il campo *Virtual Channel Identifier*, *VCI*, è usato come identificativo di canale virtuale. Esso è costituito da *sedici bit*, che consentono l'identificazione di $2^{16} = 65536$ canali virtuali in ciascuno dei percorsi virtuali. Occorre notare che le lunghezze dei campi *VPI* e *VCI*, per quanto limitate, non rappresentano in pratica un ostacolo allo sviluppo di reti di grande estensione, in quanto i parametri *VPI* e *VCI* hanno validità limitata alla tratta compresa fra due nodi ATM contigui, e possono essere riutilizzati sia su diverse tratte di una connessione sia su diverse porte di uno stesso elemento di rete.

Campo PT

Il campo *Payload Type*, *PT*, costituito da *tre bit*, è usato per indicare il tipo di informazioni trasportato dalla cella. In particolare il parametro *PT* distingue fra dati di utente e informazioni di rete: le prime sono le informazioni da trasmettere attraverso la rete ATM da utente ad utente, le seconde riguardano tipicamente funzioni di esercizio e gestione della rete. A volte informazioni di rete possono essere inviate all'utente: per esempio, per attuare meccanismi di controllo delle congestioni, la rete ATM può indicare al terminale d'utente una situazione di congestione in modo che esso provveda a ridurre il flusso di celle inviato verso la rete. Il primo bit del campo *PT*, denominato *Payload Type Indicator*, *PTI*, è posto uguale a *zero* per indicare il trasporto di dati d'utente, mentre è posto uguale a *uno* per indicare il trasporto di informazioni di rete. Il secondo bit del campo *PT* è normalmente fissato a *zero*; esso è posto uguale a *uno* quando la rete intende segnalare all'utente che la cella ha attraversato nodi di rete in situazione di congestione. Il terzo bit del campo *PT* è usato per la segnalazione da utente a utente; può anche essere usato in relazione alle funzioni di adattamento AAL5 (vedi paragrafo 7 nel seguito).

Campo CLP

Il campo *Cell Loss Priority*, *CLP*, è costituito da *un unico bit* ed è usato per marcare le celle che hanno una priorità minore delle altre. In ATM è infatti prevista la assegnazione di priorità alle singole celle, in relazione all'eventualità di perdita per fenomeni di congestione nei nodi di commutazione.

Sono state definite due classi di priorità di perdita: la prima corrisponde alle celle considerate meno importanti e quindi segnalate come le più esposte a perdite ($CLP = 1$), la seconda corrisponde alle celle più "protette" ($CLP = 0$), che richiedono dalla rete una probabilità di perdita minore.

Campo HEC

Il campo HEC è costituito da *otto bit* tramite i quali è trasmesso un codice di controllo degli errori che si possono verificare sui primi quattro ottetti della intestazione. Questo codice è costituito dal resto generato dalla divisione del polinomio associato ai precedenti quattro ottetti della intestazione per il polinomio generatore ($x^8 + x^2 + x + 1$), cui viene aggiunta (sempre in aritmetica modulo 2) la costante binaria 01010101. Questo codice è di tipo *SEC/DED* (*Single Error Correction/Double Error Detection*): esso consente cioè la correzione di un singolo bit sbagliato e dà la possibilità di rilevare fino a due errori binari. Sulla base di queste proprietà il codice HEC è anche utilizzato a livello trasmissivo per le funzioni di allineamento di cella.

Il trattamento del campo HEC può essere rappresentato come in fig. 3. Nel trasmettitore si calcola, secondo il metodo già visto, il codice di controllo relativo ai primi quattro ottetti dell'intestazione, che è trasmesso nel quinto ottetto dell'intestazione della cella; in ricezione si effettua lo stesso calcolo sui primi quattro ottetti dell'intestazione ricevuta. Il risultato del calcolo è confrontato col codice HEC trasmesso: se i due codici sono identici si assume l'assenza di errori, altrimenti si assume che si sono verificati errori. Gli effetti degli errori nell'intestazione della cella possono essere di diverso tipo ed avere diversi esiti come indicato schematicamente in fig. 4.

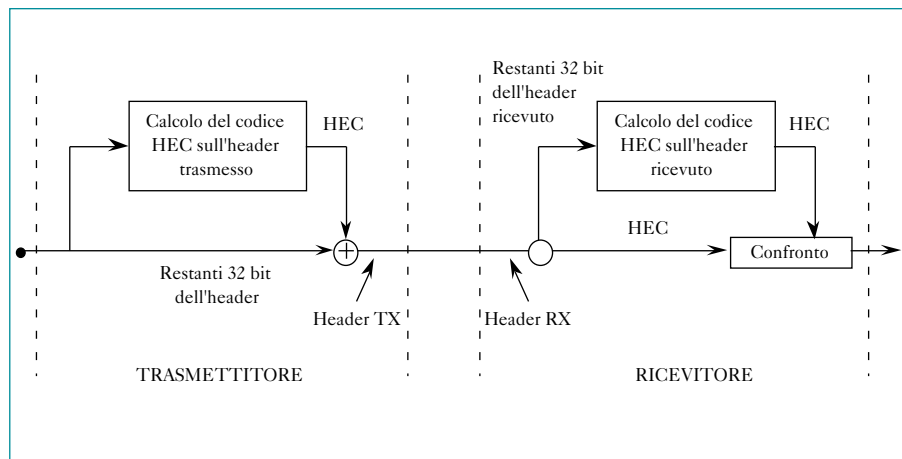


Figura 3 Trattamento del campo HEC della cella.

Come si può notare, la presenza di errori non rivelati e/o non corretti nella intestazione delle celle può dar luogo o a celle scartate o a celle, che pur ritenute valide, sono in effetti "spurie"; possono quindi essere inserite erroneamente in flussi cui non erano destinate. A titolo di esempio si consideri che, con un tasso di errore di linea di 10^{-8} , la probabilità di scartare una cella è circa 10^{-13} e la probabilità di dichiarare valida una cella errata è circa 10^{-20} .

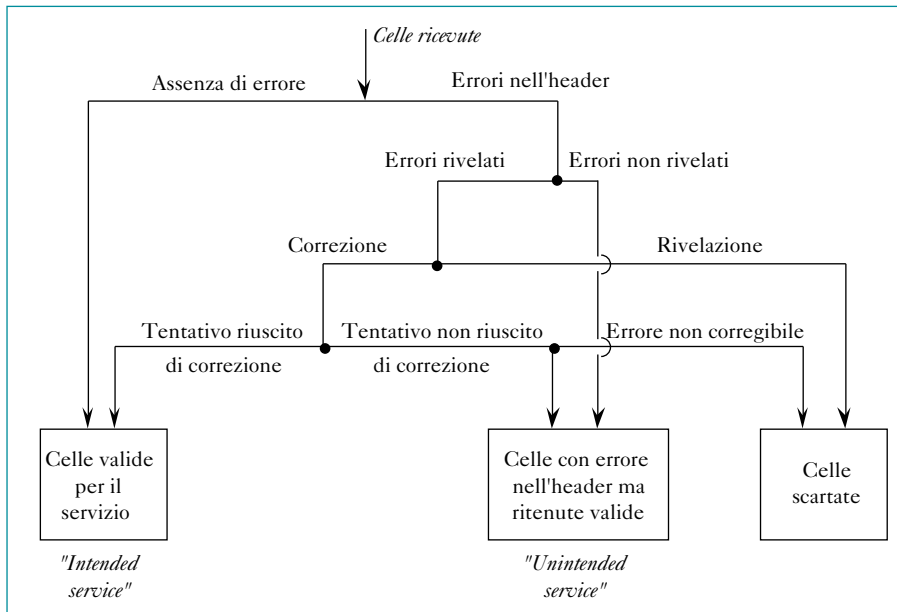


Figura 4 Effetto di errori sull'intestazione della cella ATM.

nalità, ai livelli 1-2 della pila OSI; i protocolli di livello superiore corrispondono ai livelli 3-7. È peraltro interessante notare che, mentre il modello OSI si può in un certo senso definire "monodimensionale" (le diverse pile di protocollo sono graficamente rappresentate tutte in un piano), il modello ATM, estendendosi su più piani, in realtà realizza alcune funzioni su piani paralleli. Per esempio, tramite le funzioni dei protocolli di controllo e gestione, realizza tutto quanto è necessario per il corretto indirizzamento ed instradamento dei dati, svolgendo quindi quelle che in OSI sono le funzioni di un livello 3 di "rete".

4.2 I piani d'utente, di controllo e di gestione

4. Il Modello dei protocolli ATM

4.1 Suddivisione in piani e livelli

Il modello di riferimento dei protocolli per la B-ISDN, descritto nella Raccomandazione ITU-T I.321 ("B-ISDN protocol reference model and its application"), è stato concepito come evoluzione ed estensione di quello già sviluppato per la ISDN (Raccomandazione I.320). Esso si presenta come una applicazione al contesto delle telecomunicazioni del più generale modello OSI (Racc. X.200, X.210), di cui riprende i concetti fondamentali quali la stratificazione, la separazione funzionale fra i vari livelli, nonché il concetto di relazione cliente-fornitore di servizio fra i livelli contigui.

Il modello in oggetto può essere rappresentato come in fig. 5 e comprende una partizione multidimensionale con una suddivisione orizzontale in "livelli" ed una verticale in "piani". In questo modo si è inteso schematizzare le aggregazioni funzionali più significative, che costituiscono una rete completa ATM, e le interazioni che intercorrono fra di esse.

La suddivisione verticale comprende tre "piani": il piano di Utente (*User Plane*), il piano di Controllo (*Control Plane*) ed il piano di Gestione (*Management Plane*). Mentre i primi due sono ulteriormente suddivisi al loro interno secondo il principio classico a livelli di derivazione OSI, il terzo non è strutturato a livelli ma è diviso in due parti denominate rispettivamente Gestione dei livelli (*Layer Management*) e Gestione del Piano (*Plane Management*).

La suddivisione orizzontale comprende i tre livelli base della pila dei protocolli ATM, cioè quello fisico/trasmissivo (per brevità denominato fisico), l'ATM, l'*ATM Adaptation layer*, AAL, ed i protocolli di livello superiore del piano di controllo e del piano d'utente. L'insieme dei primi tre livelli (fisico, ATM, AAL) del piano utente equivale, in termini di funzio-

Il piano di utente contiene la pila di protocolli necessari al trasferimento dell'informazione tra utenti compresi i relativi messaggi di controllo (quali ad esempio i controlli di flusso, le indicazioni di errore e/o di ritrasmissione delle informazioni).

Il piano di controllo è preposto alle funzioni di trasferimento e trattamento della segnalazione, per l'instaurazione e l'abbattimento delle chiamate e delle connessioni relative al piano di utente. I protocolli di livello superiore per questo piano sono stati definiti fino al livello applicativo (si tratta dei cosiddetti "Applicativi di segnalazione").

Il piano di gestione provvede sia alla gestione delle risorse e dei parametri relativi ai diversi livelli

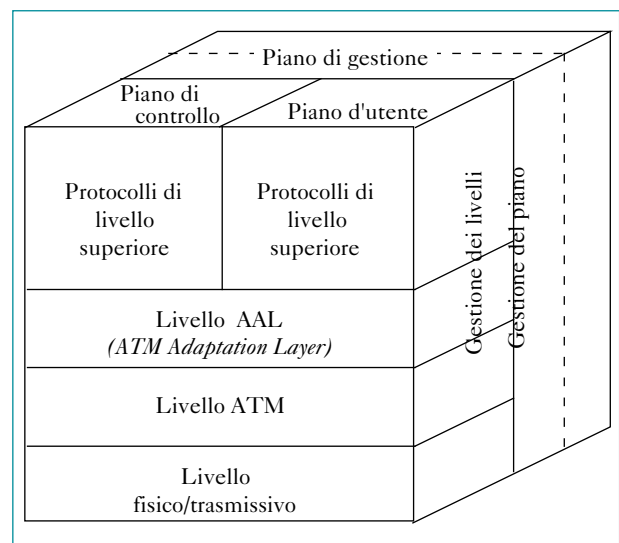


Figura 5 Modello di riferimento dei protocolli B-ISDN.

I PIANI E I LIVELLI DEL "CUBO ATM"

- Il modello dei protocolli definito per le reti ATM può essere rappresentato con un cubo articolato in tre "piani" a loro volta suddivisi in più livelli di protocollo. I tre piani, denominati di utente, di controllo e di gestione, corrispondono ad aggregazioni funzionali necessarie rispettivamente al supporto dei servizi e delle applicazioni d'utente, al controllo in tempo reale (segnalazione) delle risorse di rete e alla gestione delle stesse. La suddivisione dei piani in livelli risponde alla esigenza di identificare insiemi di funzioni di rete componibili flessibilmente secondo i criteri cliente - fornitore del modello OSI.
- In un confronto funzionale con il modello OSI citato, i livelli preposti al trasporto (fisico ed ATM) e il livello di adattamento (ATM Adaptation Layer, AAL) corrispondono ai livelli OSI 1 e 2; i livelli superiori corrispondono quindi ai livelli OSI dal 3 al 7.
- Le funzioni relative alla instaurazione, modifica e rilascio delle connessioni ATM, su cui sono istruite le celle ATM, sono svolte o in tempo reale dal piano di controllo tramite il sistema di segnalazione, o dal piano di gestione tramite apposito sistema di gestione, con un sistema logicamente separato per lo scambio dei comandi, messaggi, ecc.

del modello protocollare (funzioni di *Layer Management*), sia alla gestione del sistema nella sua globalità (*Plane Management*), operando un coordinamento tra tutti i piani. Le funzioni di *Plane Management* corrispondono, in terminologia OSI, a quelle di *System Management*. L'azione del Piano di Gestione si estende quindi anche sul piano di utente e su quello di controllo, e può comprendere le funzionalità di instaurazione e di abbattimento di connessioni, come avviene ad esempio per i permutatori ATM, sprovvisti delle funzionalità di segnalazione. In questo caso i tempi necessari per l'instaurazione di una connessione dipendono dalle prestazioni del sistema di gestione e dalla estensione della rete interessata.

4.3 Caratteristiche e funzioni principali dei livelli del modello

Il livello fisico/trasmissivo rappresenta una pluralità di funzioni per l'adattamento del flusso di celle ATM ai diversi sistemi (quali ad esempio SDH, PDH) che costituiscono il substrato trasmissivo. La chiara separazione tra questo livello e quello ATM sovrastante costituisce un aspetto importante consentendo, da una parte il trasporto delle celle con il sistema trasmissivo più opportuno a seconda dell'applicazione e del segmento di rete interessato, dall'altra una indipendenza di sviluppo tra le tecnologie trasmissive e quelle di moltiplicazione e commutazione.

Il livello ATM raccoglie le funzionalità necessarie al trasporto in rete delle celle, sulla base del concetto di connessione virtuale. Appartengono a questo livello tutte le funzioni connesse con i vari campi che formano l'intestazione della cella esaminate nel paragrafo 3. In particolare appartengono a questo livello le funzioni di moltiplicazione e commutazione di cammi-

no e canale virtuale, le funzioni associate alle varie categorie di servizio ATM e le funzioni di esercizio e manutenzione atte a garantire la correttezza di tutte le funzioni svolte dal livello ATM.

Il livello AAL rappresenta una famiglia di protocolli per l'adattamento delle caratteristiche del livello ATM alle esigenze dei vari servizi. Le classi di servizio offerte, definite nella Raccomandazione I.363, si differenziano a seconda dell'orientamento o meno alla connessione, del tipo di traffico (a banda costante o variabile), e della necessità di trasportare in rete una relazione temporale tra il flusso emesso dalla sorgente e quello ricevuto dalla destinazione.

I livelli superiori dipendono dal servizio offerto o dall'applicazione. Fra i livelli superiori si annoverano anche le pile di protocollo e gli applicativi preposti alla segnalazione.

4.4 Approccio "Core and Edge"

La struttura del modello di riferimento dei protocolli consente di adottare, per la ripartizione delle funzioni fra gli elementi della rete, un approccio molto vantaggioso denominato "core-and-edge" in parte già discusso in [1] in relazione all'allocazione delle funzioni AAL.

L'approccio prevede la realizzazione all'interno (*core*) della rete (tipicamente nei nodi di permutazione e/o commutazione della parte di transito della rete) del solo livello ATM e quindi delle funzioni preposte al solo trasporto delle celle ATM, mentre AAL e livelli superiori sono presenti agli estremi (*edge*) della rete stessa, cioè nelle centrali di accesso, nei terminali di utente o nei moltiplicatori o altri apparati di accesso specializzati per particolari servizi.

L'organizzazione di rete che ne consegue prevede uno strato esterno di accesso in cui sono realizzate le

funzioni specifiche per i vari tipi di servizi, cioè le funzioni del livello AAL, ed una parte di transito in grado di trasportare tramite celle ATM ogni tipo di informazione per tutti i tipi di servizio. In questo modo si ottiene una riduzione delle complessità della rete di transito, con conseguenti vantaggi in termini di costi e prestazioni.

L'approccio *core-and-edge* differisce profondamente da quelli adottati nelle reti a pacchetto tradizionali, per le quali è prevista in ogni nodo di rete la presenza di funzionalità specifiche per i servizi offerti.

5. Il livello fisico

Lo strato più basso del modello di riferimento dei protocolli è costituito dal Livello Fisico (*Physical Layer*), suddiviso funzionalmente nei due sottolivelli di Mezzo Fisico (*Physical Medium*) e di Convergenza Trasmissiva (*Transmission Convergence*).

Le funzioni del sottolivello *Mezzo Fisico* dipendono dai diversi sistemi trasmissivi considerati; esse comprendono la trasmissione e la ricezione del flusso di bit, l'inserzione e l'estrazione delle informazioni di sincronismo e la codifica di linea.

Il sottolivello Convergenza Trasmissiva è invece preposto alla trasformazione del flusso di celle ATM in flussi adatti ad essere trasmessi sul mezzo fisico. Le funzioni tipiche di questo sottolivello comprendono la generazione e la ricezione della trama trasmissiva, l'adattamento del flusso di celle ATM alla struttura della trama stessa, l'inserzione (in trasmissione) e l'estrazione (in ricezione) del campo HEC, che è usato anche al fine della corretta delimitazione dei confini della cella. Sul carico informativo della cella sono eseguite operazioni di "scrambling/descrambling" mirate ad evitare che si presentino configurazioni di segnali tali da simulare il codice HEC, e quindi dannose dal punto di vista del meccanismo della verifica e dell'eventuale recupero della condizione di corretta delimitazione della cella. Appartengono ancora a questo sottolivello le funzioni di adattamento della velocità dei flussi ATM a quella del sistema trasmissivo tramite inserzione ed estrazione di apposite celle di riempimento (le così dette celle *idle*). Sono altresì incluse in questo sottolivello le funzioni di esercizio e manutenzione di livello fisico ed il trasferimento del riferimento di temporizzazione dal livello fisico a quello ATM.

È opportuno notare che all'interfaccia tra il livello fisico ed il livello ATM transitano solo celle valide: sono cioè escluse quelle di riempimento e quelle affette da errori nella intestazione della cella, come chiarito al paragrafo 3 in relazione al trattamento del campo HEC.

6. Il livello ATM

6.1 Richiami sulle connessioni ATM

L'ATM è una tecnica orientata alla connessione: prima della effettiva trasmissione delle informazioni occorre quindi predisporre il cammino che sarà seguito dalle celle (*connessione ATM*) attraverso tutta la rete fra i due estremi che devono comunicare fra loro.

La connessione ATM è di tipo virtuale nel senso che non prevede l'allocazione preventiva di risorse trasmissive e/o di commutazione, bensì solo un'associazione logica di corrispondenze fra i vari punti delle connessioni. Come già discusso in [2], esistono due tipi di connessioni virtuali: quella di cammino virtuale (*Virtual Path Connection, VPC*), costituita dalla concatenazione di più sezioni VP, e quella di canale virtuale (*Virtual Channel Connection, VCC*), costituita dalla concatenazione di più sezioni VC. La relazione fra i vari tipi di connessione virtuale è rappresentata in fig. 6.

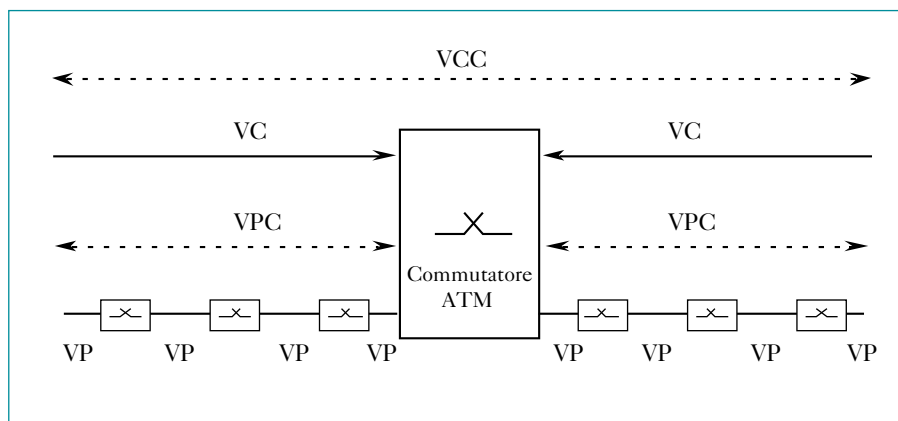


Figura 6 Relazione fra i diversi tipi di connessione ATM.

In generale le connessioni possono essere di tipo permutato (o semipermanenti) o commutato: nel primo caso le informazioni residenti nei nodi ATM e necessarie per lo smistamento delle celle sono create e modificate tramite apposite funzioni del sistema di gestione; nel secondo caso il processo si svolge in tempo reale, su richiesta del terminale d'utente, tramite i protocolli di segnalazione. Per le connessioni di cammino virtuale è prevista solo la modalità permutata, mentre per quelle di canale virtuale è generalmente prevista la modalità commutata.

Una rappresentazione schematica della stratificazione degli elementi del livello fisico/trasmissivo e delle connessioni virtuali ATM è riportata in fig. 7. Diverse sezioni di rigenerazione in cascata costituiscono una sezione trasmissiva numerica, e diverse sezioni numeriche in cascata costituiscono un percorso trasmissivo. In un percorso trasmissivo possono essere trasportate diverse connessioni VPC; a sua volta una connessione VCC è costituita da una successione di tratte di VPC. La moltiplicazione ed il trasporto di diverse connessioni virtuali ATM su un flusso numerico associato ad un de-

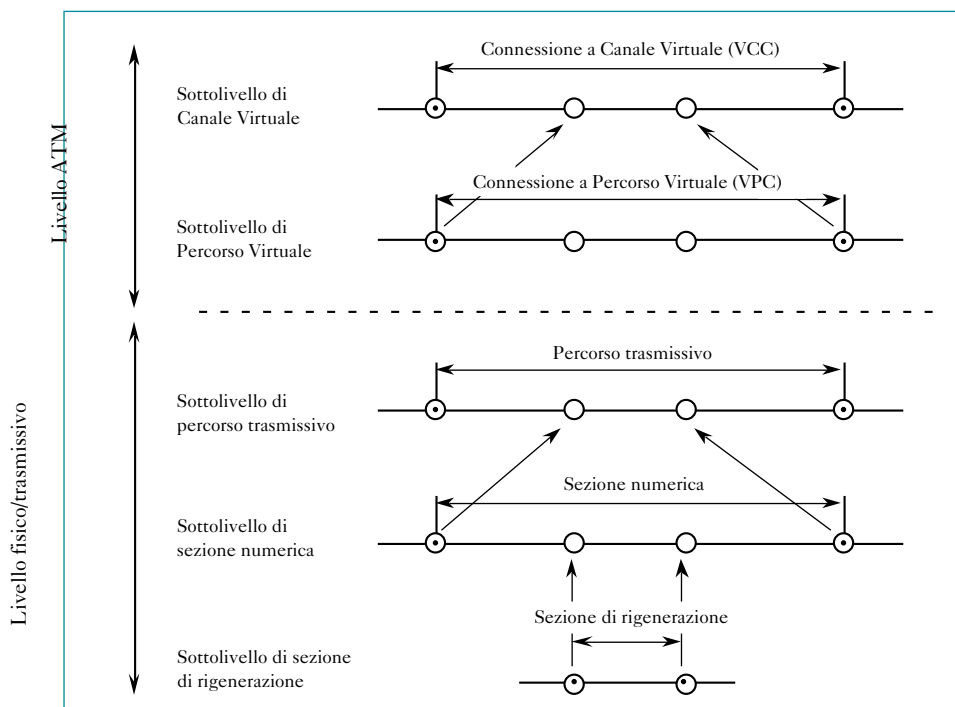


Figura 7 Stratificazione degli elementi del livello fisico/trasmissivo e del livello ATM.

terminato sistema trasmissivo possono essere schematicamente rappresentati come in fig. 8. Le celle ATM corrispondenti alle diverse connessioni sono inserite su un multiplex trasmissivo, in cui viene realizzato un flusso continuo di celle contigue. Nel caso non siano presenti celle nelle connessioni ATM tributarie, il flusso multiplex trasmesso sarà costituito da una sequenza di celle di riempimento (*idle*).

6.2 Permutazione e commutazione ATM

Ciascuna connessione virtuale ATM è caratterizzata da un identificativo (etichetta) costituito dalla coppia VPI + VCI. La funzione di commutazione ATM comprende due operazioni: il trasferimento delle celle con il loro contenuto informativo dalle porte di ingresso dei nodi alle corrispondenti porte di uscita, e la traslazione dei valori delle etichette. La prima operazione è definita "commutazione di multiplex" (*Multiplex switching: M-switching*), e la seconda "commutazione di etichetta" (*Label switching: L-switching*).

Il principio di commutazione ATM è schematizzato in fig. 9, ove sono mostrate:

- la matrice per il trasferimento della cella dal flusso multiplex della porta di ingresso a quello della corrispondente porta di uscita (commutazione di multiplex);
- le operazioni di cambia-

mento dell'indicativo di connessione virtuale, da quello relativo al flusso multiplex della porta di ingresso a quello relativo al flusso multiplex della porta di uscita (commutazione di etichetta).

L'assegnazione degli identificativi VPI/VCI nelle varie tratte della rete che costituiscono una connessione, nonché la memorizzazione delle associazioni tra VPI/VCI di ingresso e VPI/VCI di uscita nei nodi di rete, sono fatte al momento dell'instaurazione della connessione ATM. Questi identificativi e queste associazioni sono utilizzati per tutte le celle della connessione fino al suo rilascio, dopo di che sono disponibili per un'eventuale nuova connessione.

La divisione dell'identificativo di connessione virtuale nei due campi VCI e VPI permette una ripartizione logica delle connessioni di canale virtuale in gruppi che costituiscono

i cammini virtuali e che sono identificati da un comune identificativo VPI. Ciò consente di definire una funzione di commutazione ATM di cammino virtuale, che tratta tutti i canali associati ad un cammino come una singola entità (tutte le celle sono indirizzate verso la stessa uscita, e la funzione di commutazione di etichetta interessa solo il campo VPI). La fig. 10 illustra le differenze fra la funzione di commutazione di cammino virtuale (fig. 10a; VP-switching) e la funzione di commutazione di canale virtuale (fig. 10b; VC-switching). Si noti che la separazione fra le due funzioni è solo logica: in realtà la stessa matrice di commutazione ATM è in grado di svolgere entrambe le funzioni, essendo la differenza riconducibile al contenuto delle tabelle di instradamento delle celle.

L'instradamento delle celle attraverso una rete

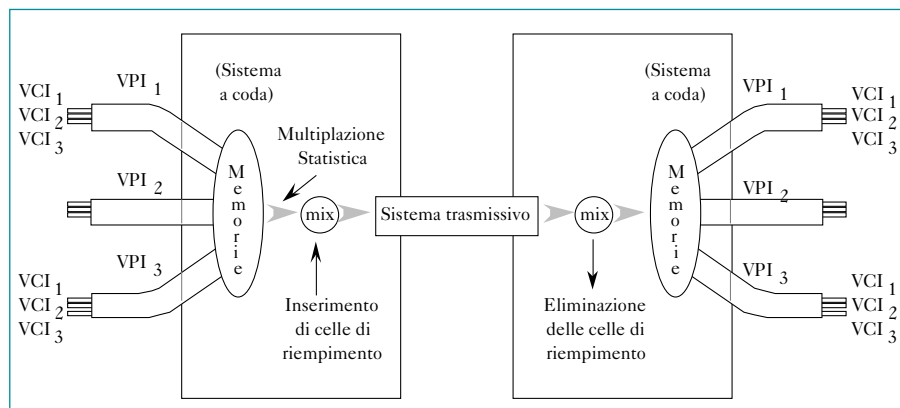


Figura 8 Trasporto di diversi VP con un sistema trasmissivo.

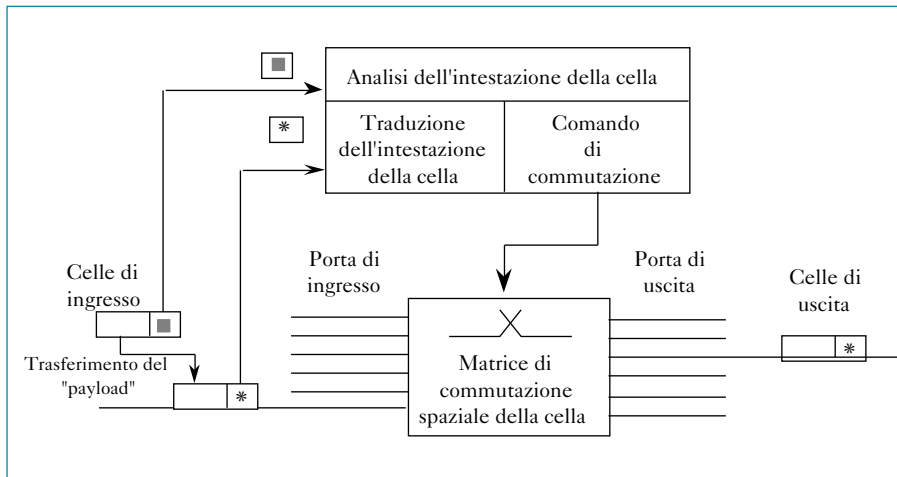


Figura 9 Commutazione ATM.

no dalla sorgente alla destinazione.

Un caso particolare di commutazione ATM si presenta per le connessioni punto-multipunto: cioè per quelle connessioni che hanno un solo ramo entrante nel nodo di commutazione e più di un ramo uscente. In questo caso la funzione di commutazione di multiplex comprende anche la replica delle celle nei vari flussi multiplex di uscita, e la traslazione dell'etichetta è multipla, poiché ad ogni ramo uscente della connessione deve essere assegnato un identificativo di connessione separato ed indipendente dagli altri rami uscenti.

ATM comporta una successione di traduzioni di etichette; per illustrare il meccanismo di instradamento in fig. 11 è rappresentata, a titolo di esempio, una connessione comprendente tre nodi di commutazione. In ciascuno dei nodi è predisposta una tabella di instradamento che, in base alla porta ed alla etichetta (VPI e VCI) di ingresso, determina la porta e la etichetta di uscita. Seguendo le traduzioni di etichetta e i trasferimenti delle celle dalle porte di ingresso alle corrispondenti porte di uscita secondo le indicazioni delle tabelle di instradamento, tutte le celle di una connessione virtuale percorrono il medesimo cammi-

6.3 Le categorie del trasporto ATM

La capacità dell'ATM di trasportare in modo omogeneo tutti i tipi di servizi è stata alla base della concezione stessa della tecnica e costituisce una caratteristica essenziale per la realizzazione di una rete integrata a larga banda.

Come chiarito nel paragrafo 4, l'uniformità del trasporto dell'informazione in rete è possibile grazie alla separazione fra lo strato ATM e le funzioni di adattamento del trasporto a celle alle caratteristiche dei diversi tipi di servizi. L'adattamento è realizzato dallo

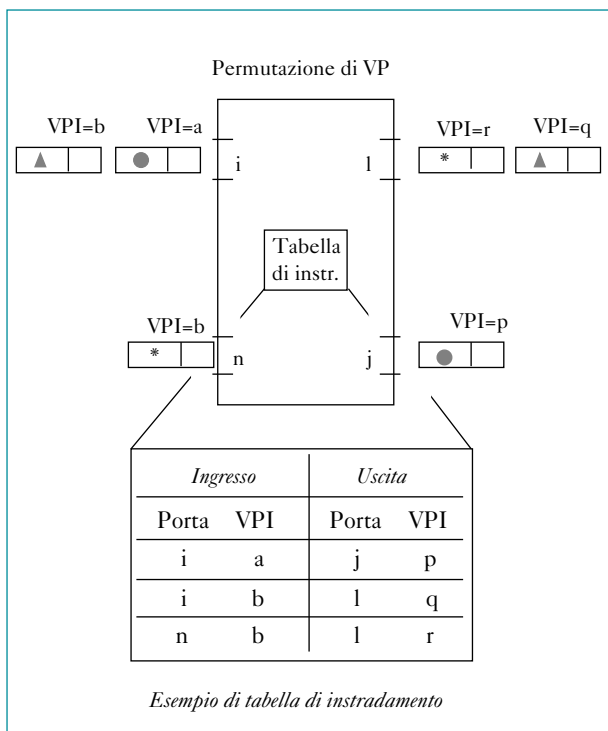


Figura 10a Permutazione di VP.

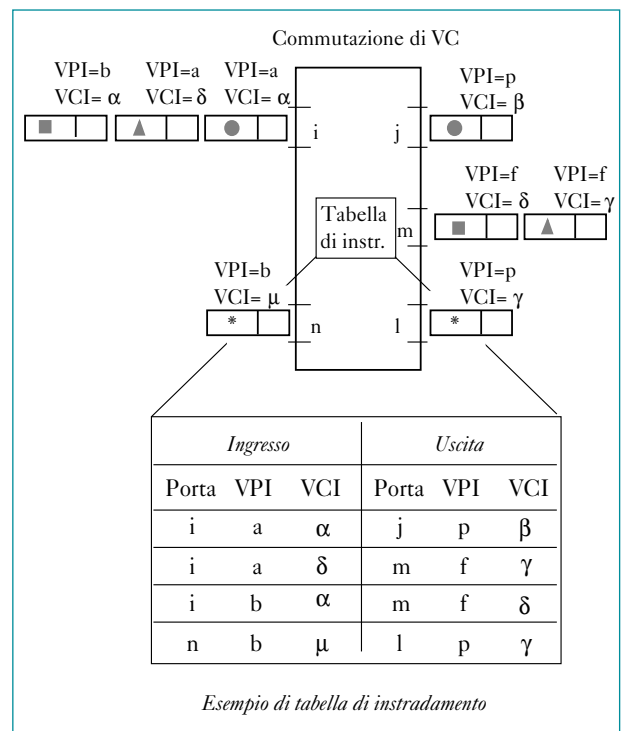


Figura 10b Commutazione di VC.

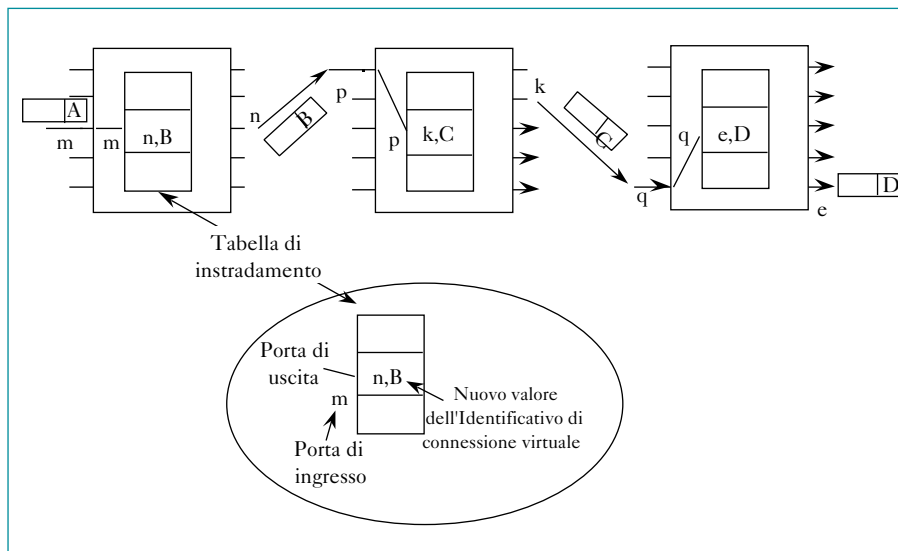


Figura 11 L'instradamento delle celle attraverso una rete ATM.

strato AAL, sovrapposto allo strato ATM. Sono stati definiti diversi tipi di AAL utilizzabili da servizi/applicazioni con diversi requisiti, che saranno descritti nel paragrafo 7.

Recentemente è stata riconosciuta anche l'opportunità di una articolazione del trasporto ATM, con la definizione di un certo numero di categorie, miranti essenzialmente al più efficace utilizzo delle risorse di rete. La differenziazione delle caratteristiche delle connessioni ATM in rete consente infatti, in modo complementare alle funzioni del livello AAL, di modulare il livello di prestazioni/costo, ampliandone la gamma in funzione dei requisiti del cliente. Questa idea si è affermata parallelamente in ATM Forum ed ITU-T, dove queste categorie sono state denominate

tamento della connessione (CAC, UPC/NPC) e quelle di allocazione e controllo delle risorse.

Sono state previste sei categorie di trasporto ATM:

- a frequenza di cifra costante (*Deterministic Bit Rate*, *DBR* in ITU-T o *Constant Bit Rate*, *CBR*, in ATM Forum);
- a frequenza di cifra variabile (*Statistical Bit Rate*, *SBR* in ITU-T o *Variable Bit Rate*, *VBR* in ATM Forum), nelle varianti *VBR-Real Time* e *VBR-Non Real Time*;
- a frequenza di cifra disponibile (*Available Bit Rate*, *ABR*);
- a trasferimento di blocchi (*ATM Block Transfer*, *ABT*);
- a frequenza di cifra non specificata (*Unspecified Bit Rate*, *UBR*).

LE CATEGORIE DI TRASPORTO: SEI MARCE PER L'ATM

- Le "service categories" o "transfer capabilities" (a seconda che si segua la denominazione ATM Forum o ITU-T) sono state ideate per ampliare la gamma di prestazioni offerte dal trasporto ATM, con l'obiettivo di massimizzare l'impiego delle risorse di rete riducendo al contempo i rischi di congestione o degradazione della qualità del trasporto.
- Le diverse categorie di trasporto ATM sono contraddistinte da insiemi diversi dei parametri di qualità associati alle connessioni ATM (probabilità di perdita di celle, ritardo, variabilità del ritardo). Ciascuna categoria risulta quindi indicata, in dipendenza dei requisiti, per specifiche applicazioni: la "Constant Bit Rate" è indicata per comunicazioni di alta qualità; le due "Variable Bit Rate" sono adatte per applicazioni con una certa tolleranza del ritardo ma con stringenti requisiti di perdita; le "Available Bit Rate" e "ATM Block Transfer", a prezzo di una maggiore complicazione, consentono, in modi leggermente diversi, di sfruttare al massimo la banda che, momento per momento, si rende disponibile in rete; la "Unspecified Bit Rate", infine, corrisponde ad una modalità "best effort", e consente l'utilizzazione più opportunistica della capacità residua in rete, senza particolari requisiti di qualità.

rispettivamente "service categories" (Specificazione "Traffic Management" versione 4.0) e "transfer capabilities" (Racc. I.371). La classificazione delle diverse categorie è fatta in base al tipo di traffico offerto dalla sorgente ed ai requisiti di qualità di servizio; per quest'ultimo aspetto in ambito ITU-T si fa riferimento alla Racc. I.356 che definisce le classi di qualità di servizio.

Le varie categorie di trasporto implicano per la rete modalità differenziate di allocazione e di gestione delle risorse (elaborazione, memoria, capacità): per esempio, in base alla associazione di una connessione ATM ad una determinata categoria sono configurate nei nodi interessati le specifiche funzioni di ammissione e trattamento della connessione (CAC, UPC/NPC) e quelle di allocazione e controllo delle risorse.

Di seguito sono riassunte le principali caratteristiche di queste categorie di trasporto.

Trasporto a frequenza di cifra costante - CBR

Questa categoria garantisce una capacità trasmissiva costante per tutta la durata della connessione ed è indicata per tipi di traffico che richiedono basso tasso di perdita delle celle e minimo ritardo (sia assoluto sia in termini di variabilità). Il flusso di celle proveniente dalla sorgente è controllato alla interfaccia di accesso sulla base della banda massima negoziata per la connessione (il *Peak Cell Rate, PCR*); la rete assicura per tutta la durata della connessione che il ritardo di transito e la sua variabilità da cella a cella sia inferiore a soglie prefissate (*Cell Delay Variation Tolerance, CDVT*).

Trasporto a frequenza di cifra variabile - VBR

Questa categoria è indicata per traffico caratterizzato dalla presenza di picchi e pause (ad es. flussi dati tra LAN) con requisiti di basso tasso di perdita delle celle e che possono beneficiare della moltiplicazione statistica ATM. Oltre alla banda di picco, che è comunque definita per la connessione, sono fissate, nel contratto di traffico, la banda media (*Sustainable Cell Rate, SCR*) e la massima dimensione consentita dei "burst" (*Maximum Burst Size, MBS*), che corrisponde alla massima durata ammessa per i periodi di trasmissione alla velocità di picco. Si distingue inoltre, in termini qualitativi, tra due opzioni: la prima con limiti stringenti sul ritardo di trasmissione e l'altra con limiti di ritardo più laschi.

Le variazioni di traffico sono assorbite dai nodi di rete, nei limiti prefissati, tramite opportuni criteri di uso delle risorse disponibili (ad esempio priorità di elaborazione, allocazione dei buffer di memoria che nei nodi più recenti hanno dimensioni ragguardevoli, priorità nell'accesso alle linee trasmissive in uscita dal nodo); si garantisce in questo modo una bassa probabilità di perdita, sia pure al prezzo di ritardi più consistenti e variabili, che dovrebbero rientrare comunque nei limiti tollerati dalle applicazioni.

Trasporto a frequenza di cifra disponibile - ABR

Esamineremo questa categoria con un maggiore dettaglio: essa riveste infatti un interesse particolare perché, anche se di più complessa realizzazione, è direttamente mirata ad uno sfruttamento ottimale delle risorse disponibili in rete, consentendo nel contempo un tasso di perdita delle celle assai contenuto.

La realizzazione del trasporto ABR richiede che nodi di rete e terminali possano colloquiare tra loro tramite protocolli definiti per consentire lo scambio di informazio-

ni su eventuali situazioni di congestione e per effettuare azioni di regolazione dinamica del flusso delle celle sulla connessione in relazione alla capacità disponibile in rete. Sono state specificate a tale scopo diverse modalità di funzionamento, tra di loro compatibili, che consentono la coesistenza in rete di elementi con funzionalità ABR più o meno sofisticate, lasciando ampi margini per le scelte realizzative.

I parametri di traffico specificati sono, oltre alla banda di picco ed al relativo valore della massima variazione del ritardo (CDVT), la cosiddetta banda minima garantita (*Minimum Cell Rate, MCR*), che rappresenta il valore al di sotto del quale la rete non pone limitazioni alla sorgente (questo valore può anche essere zero), il tasso di emissione "di default" all'inizio della connessione (*Initial Cell Rate, ICR*) ed il "passo" discreto con cui la sorgente può incrementare o diminuire il proprio tasso di emissione delle celle (*Rate Increase Factor, RIF*, e *Rate Decrease Factor, RDF*).

Il trasporto delle informazioni relative al controllo del flusso delle celle si effettua tramite particolari celle ATM cosiddette di *Resource Management, (RM)*, appositamente riservate all'ABR ed inserite nella connessione analogamente a quelle che contengono le informazioni di esercizio e manutenzione (*Operation, Administration and Maintenance, OAM*).

Il meccanismo di regolazione, schematicamente illustrato nelle figg. 12 e 13, si basa sulla instaurazione di uno o più anelli di controllo in retroazione; in fig. 12 ne è indicato uno da estremo ad estremo (modalità "end-to-end") della connessione. Per illustrare il funzionamento del meccanismo esaminiamo, nel caso "end-to-end", il comportamento dei diversi elementi che costituiscono l'anello: sorgente, destinazione e nodi di rete.

La sorgente genera le celle RM cosiddette *forward*: esse contengono il valore corrente del tasso a cui la sorgente trasmette i dati, il valore desiderato, che può giungere sino al PCR, ed il valore minimo garantito per la connessione. Le celle *forward* viaggiano in rete, seguendo il percorso delle altre celle della connessione, sino a giungere alla destinazione. Questa, da parte sua, rinvia le celle RM alla sorgente ma non a mano che le riceve; questo flusso è detto *backward*.

Lungo il cammino da sorgente a destinazione e viceversa il contenuto delle celle RM può essere modi-

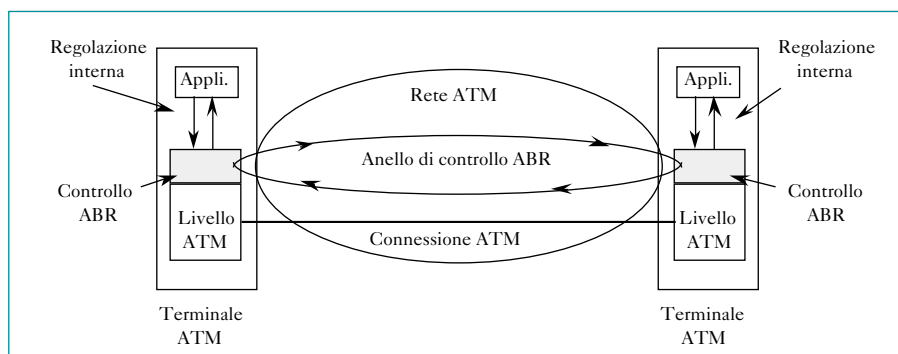


Figura 12 Regolazione del traffico nel trasporto ABR.

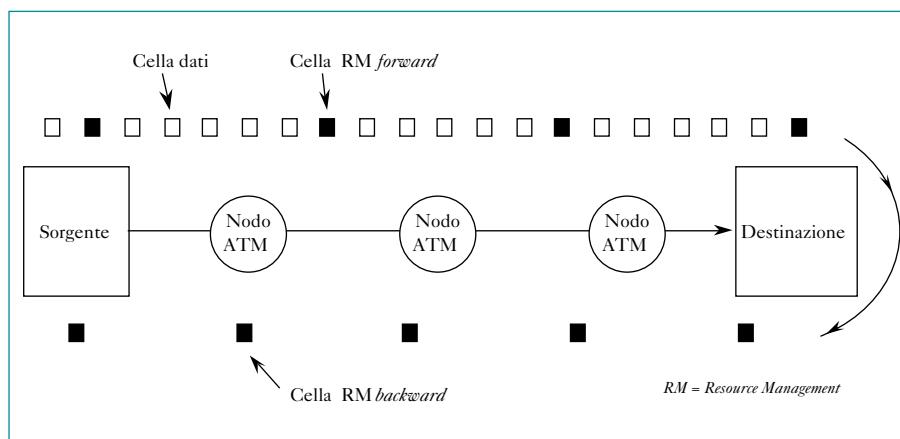


Figura 13 Flusso di celle di controllo nel trasporto ABR.

ficato, dai nodi intermedi e dalla destinazione stessa, in modo che alla fine del percorso la sorgente possa avere indicazione sul valore del “massimo comun denominatore” del tasso di smaltimento delle celle sostenibile dagli elementi inseriti nell’anello senza rischiare situazioni di congestione. Se la sorgente, in base alle indicazioni avute, rileva di poter aumentare la propria velocità di emissione, lo fa di una quantità proporzionale al “passo” prestabilito; se viceversa in quel momento essa sta andando troppo “veloce”, rallenta con un decremento proporzionale al tasso prestabilito. In ogni caso il tasso di trasmissione delle celle è mantenuto tra i valori minimo e massimo, dati rispettivamente da MCR e PCR.

Altre indicazioni che le celle di RM possono “racogliere” nel loro viaggio nell’anello di controllo, e che possono essere utilizzate dalla sorgente per regolare il flusso di celle immesse in rete, riguardano eventuali stati di congestione o di congestione imminente.

Se tutto funziona correttamente il tasso di emissione della sorgente si mantiene, durante la durata della connessione tra MCR e PCR, fluttuando sempre verso il valore più alto consentito, istante per istante, dallo stato delle risorse di rete e prevenendo automaticamente la insorgenza di situazioni di congestione.

L’anello di controllo, che nell’esempio appena descritto è unico su tutta la tratta coperta dalla connessione ATM, può anche essere segmentato, introducendo una suddivisione in “sottoanelli”, ed al limite prevedendo un anello in corrispondenza di ciascuna tratta ATM, realizzando in tal modo una modalità di funzionamento “hop-by-hop”. Questa segmentazione può avere diversi effetti positivi, tra cui una maggiore flessibilità del sistema complessivo data dal disaccoppiamento dei diversi segmenti, la diminuzione della costante di tempo di reazione di ciascuno sottoanello con minor rischio di comportamenti instabili, ed anche la separazione logica di sottoreti appartenenti ad esempio a domini amministrativi diversi. È da notare anche che questo tipo di funzionamento si adatta bene alle caratteristiche di protocolli di livello superiore molto diffusi come il *Transmission Control Protocol*, *TCP*, della pila *TCP/IP*, che lavora, nella modalità “*Slow Start*”, proprio partendo con un valore minimo

di tasso di emissione e salendo gradatamente sino al massimo possibile sulla rete.

La fornitura di un servizio ATM ABR con tutte le opzioni specificate richiede peraltro la realizzazione di funzionalità piuttosto complesse, sia nei nodi di rete sia dei sistemi d’utente, così che risulta improbabile a breve termine il dispiegamento di un trasporto ABR con funzionalità piene in una rete pubblica; sono invece già disponibili nel mercato soluzioni non del tutto standard, che consentono comunque di sfruttare efficacemente la capacità trasmissiva che man mano si rende disponibile in rete a seconda delle condizioni del traffico.

Trasporto ATM con trasferimento di blocchi - ABT

La categoria di trasporto ABT costituisce una variante del trasporto ABR, definita solo dall’ETSI e dall’ITU-T. Essa ha diverse somiglianze con l’ABR dal punto di vista del comportamento “visto dall’esterno”; il meccanismo su cui si basa non è però un anello di controllo in retroazione, bensì una negoziazione dell’allocazione delle risorse tra sorgente e rete, fatta tramite l’uso di celle RM, per il trasporto di “blocchi” discreti di celle, piuttosto che di un flusso continuo più o meno intenso.

Trasporto a frequenza di cifra non specificata - UBR

Questa categoria, considerata solo da ATM Forum, non prevede garanzie specifiche su nessun parametro; la rete fornisce un servizio di tipo “best effort”, adeguando alle proprie disponibilità sia i ritardi sia il tasso di perdita di celle. Un’assunzione implicita è quindi la presenza di meccanismi di recupero e di compensazione ai livelli superiori a quello ATM, in modo simile a quanto oggi avviene ad esempio su Internet con la pila di protocollo *TCP/IP*.

7. Livello di Adattamento per il supporto dei servizi (ATM Adaptation Layer, AAL)

7.1 Caratteristiche generali dei protocolli di livello AAL

Il livello AAL provvede essenzialmente all’adattamento del formato delle informazioni da trasmettere al trasporto con celle ATM ed alla attuazione di funzioni complementari al trasporto necessarie al supporto di vari servizi offerti.

Per quanto riguarda l’adattamento di formati, il livello AAL esegue, in trasmissione, la segmentazione delle unità dati provenienti dai livelli superiori, in blocchi di dimensioni pari al campo informativo della cella ATM (48 ottetti); in ricezione l’AAL ricostruisce le unità dati stesse nel formato originario.

Il trasporto espletato dal livello ATM richiede al livello AAL di aggiungere o complementare in relazione ai diversi servizi (quali quelli a circuito con frequenza di cifra costante, e quelli dati a pacchetto connection oriented e connectionless) le funzionalità non fornite dal livello ATM, quali ad esempio il recupero di sincronismo, il rilevamento e la correzione degli errori, sui dati di utente, il controllo di flusso.

Per ogni servizio si potrebbe pensare in teoria ad uno specifico AAL (o addirittura a più AAL a seconda della qualità da fornire al livello applicativo); all'atto della definizione normativa in ITU e in ATM Forum, in pratica si sono raggruppate in un numero limitato di protocolli AAL funzionalità affini e che potessero essere combinate fra loro in modo flessibile.

Sono stati infatti sinora specificati tre protocolli di adattamento: l'AAL1, l'AAL3/4 e l'AAL5, idonei rispettivamente per servizi a frequenza di cifra costante, servizi dati a pacchetto, come il *Connectionless Broadband Data Service, CBDS*, definito da ETSI ed il suo omologo specificato da ITU (*SMDs*), e per servizi dati orientati alla connessione (ad esempio Frame Relay). La segnalazione utilizza un protocollo apposito, il protocollo S-AAL, che è derivato direttamente dall'AAL5. La definizione di un protocollo AAL2 (mirato a servizi a frequenza di cifra variabile con requisiti di ritardo stringenti) è da tempo allo studio ma senza risultati concreti.

In effetti, la tendenza che va emergendo sia in normativa, sia nel mercato dei prodotti ATM, è quella di una concentrazione degli sviluppi su pochi tipi di livello di adattamento: l'AAL5 sta assurgendo, per le sue

caratteristiche di semplicità e per la disponibilità ormai diffusa di circuiti integrati per la sua realizzazione, a soluzione di riferimento per il traffico dati, ed è usata in diverse circostanze al posto di AAL1 per il supporto di servizi di emulazione di circuito e di AAL3/4 per il supporto di comunicazioni connectionless (es. IP). Sono oggetto di forte interesse e di studio soluzioni AAL specifiche per il supporto di comunicazioni di tipo fonico che includono codifiche a compressione, e mirano ad un uso ottimizzato del carico utile di cella riducendo contemporaneamente i problemi di ritardo di trasmissione.

La struttura del generico livello AAL prevede due sottolivelli:

- il sottolivello *Segmentation And Reassembly, SAR*, che include le funzioni relative all'adattamento di formati;
- il sottolivello *Convergence Sublayer, CS*, che include le funzionalità più dipendenti dallo specifico servizio.

Di seguito si riassumono le caratteristiche principali dei protocolli AAL.

AAL 1

Il protocollo AAL1 è usato per servizi con velocità di cifra costante (CBR). Esso include funzionalità di recupero del sincronismo tra sorgente e ricevitore, il trasporto delle informazioni sulla struttura dei dati, il rilevamento e la correzione di errori, nonché le indicazioni sulle informazioni perse o errate che non sono state recuperate dal protocollo stesso.

L'ADATTAMENTO FRA I REQUISITI DEI SERVIZI E LE CARATTERISTICHE DEL TRASPORTO ATM (PROTOCOLLI AAL)

- I protocolli AAL (ATM Adaptation Layer) provvedono all'adattamento fra i diversi requisiti dei vari servizi e le caratteristiche del trasporto ATM (ad esempio controllo degli errori, sincronizzazione), convertendo altresì congruentemente i flussi informativi (quali i pacchetti, i flussi di bit) corrispondenti a detti servizi in formati inseribili nelle celle ATM.
- I tipi di AAL definiti sono sostanzialmente tre: l'AAL1 è adatto a servizi che generano frequenze di cifra costanti (ad esempio emulazione di circuito; fonia) e con stringenti esigenze di sincronizzazione fra sorgente e destinazione; l'AAL3/4 è stato definito per traffico a pacchetto (quale l'unità dati di servizi connectionless) e incorpora meccanismi di indirizzamento e di controllo di errore; l'AAL5 è pure inteso per traffico a pacchetto, ma è molto più semplice per quanto riguarda ad esempio il controllo degli errori. L'AAL2, pensato per il supporto dei servizi sincronici con frequenza di cifra variabile, è rimasto poco più che una sigla. Per il traffico dati la maggior parte delle realizzazioni si è concentrata sull'AAL5 (ad esempio dati IP); gli studi più recenti si stanno invece focalizzando, specificamente per il trasporto di comunicazioni vocali, sulla definizione di AAL specifici che usino in modo ottimale il carico utile della cella e minimizzino i problemi di ritardo connessi alla formattazione di campioni vocali nelle celle ATM.
- Tenendo presente che, in base agli ultimi sviluppi della normativa, il trasporto ATM prevede diverse categorie (vedi paragrafo 6) con differenti prestazioni, si configurano associazioni congruenti fra i tipi di AAL e le categorie di trasporto, come ad esempio AAL1 e CBR, AAL5 e ABR.

Esso consente anche di compensare le variazioni di ritardo di trasmissione da estremo ad estremo tramite una apposita memoria in ricezione. La sincronizzazione del ricevitore e del trasmettitore può essere fatta con due diverse procedure: una fa uso di apposite informazioni di temporizzazione (*Synchronous Residual Time Stamp, SRTS*) inviate dal trasmettitore al ricevitore; l'altra, di più semplice realizzazione, è disponibile in diversi prodotti, impiega un controllo adattativo basato sul livello di riempimento della memoria di ricezione (tecnica detta di Adaptive Clock) [3].

AAL 3/4

Il protocollo AAL 3/4 è usato per servizi dati a pacchetto a frequenza di cifra variabile.

Esso consente il trasferimento di unità dati di lunghezza variabile realizzandone in trasmissione la segmentazione per l'adattamento al trasporto su celle ATM e, viceversa, il riasssemblaggio in ricezione; rilevando altresì gli errori trasmissivi.

Il livello AAL3/4 include funzioni di moltiplicazione e demoltiplicazione che consentono di avere contemporaneamente più connessioni AAL attive, o il trasferimento contemporaneo di più unità dati, nel caso di servizi connectionless, su una stessa connessione ATM.

AAL 5

Questo protocollo è impiegato per servizi dati a pacchetto a frequenza di cifra variabile; in particolare il suo uso è stato specificato per l'impiego con trame dati di tipo Frame Relay. Il protocollo AAL 5 fornisce supporto alla stessa classe di servizi dell'AAL 3/4 ma con funzioni semplificate e overhead ridotto, in particolare per quanto riguarda i controlli di errore sul carico informativo dei pacchetti. La struttura funzionale di protocollo e le modalità di passaggio delle unità dati al livello AAL sono identiche a quanto definito per l'AAL 3/4.

AAL per la segnalazione (S-AAL)

La struttura del S-AAL, derivato da AAL5 con la aggiunta di un sottolivello di convergenza specifico, è particolarmente orientata ad una trasmissione affidabile (priva da errori) delle unità dati e fornisce i mezzi per instaurare, mantenere e rilasciare una connessione ATM tra due entità di segnalazione.

Il protocollo prevede funzioni specifiche per il trasporto dei comandi e dei parametri di segnalazione, definiti in un apposito protocollo di livello 3, sia per l'interfaccia UNI sia per la NNI.

8. Le funzioni dei piani di controllo e di gestione

8.1 Piano di controllo - segnalazione

Le funzioni di controllo si attuano tramite il sistema di segnalazione. La segnalazione permette ad ogni terminale di richiedere l'instaurazione ed il

rilascio di connessioni virtuali ATM su base chiamata, specificando i parametri relativi alla connessione stessa in funzione delle esigenze dell'utente (servizi on-demand). La segnalazione può inoltre essere utilizzata per richiedere la modifica delle caratteristiche delle connessioni attive, per richiedere l'aggiunta di nuove connessioni ad una chiamata multiconnessione (ad esempio per comunicazioni multimediali), nonché l'aggiunta di nuovi utenti a chiamate già in corso (per esempio per la diffusione da uno-a-molti di flussi video, permettendo così di trarre il massimo vantaggio dalle caratteristiche di flessibilità della tecnica ATM).

La varietà delle tipologie di connessioni e dei servizi offribili su una rete ATM ha richiesto la definizione di un sistema di segnalazione altamente flessibile, con notevole livello di sofisticazione e complessità; per tale motivo a livello di normativa è stato deciso di sviluppare gli standard per le reti ATM commutate attraverso fasi successive (Release) caratterizzate da un arricchimento progressivo della qualità e della varietà dei servizi offerti.

L'esigenza di ottimizzare l'impiego delle risorse di rete (considerate anche le elevate capacità richieste dai servizi a larga banda), insieme alla necessità di dover gestire più di una connessione per ogni chiamata (multiconnessione), hanno condotto ad adottare il criterio cosiddetto di "Separazione dei Controlli" tra la chiamata e la connessione. In base a questo concetto la chiamata può essere vista come una relazione logica tra terminali non direttamente collegata a determinate risorse di rete. Le principali funzioni relative al controllo della chiamata sono la verifica dello stato di libero del terminale chiamato e della compatibilità dello stesso con quello chiamante, nonché la negoziazione dei parametri del servizio; tutte queste azioni sono eseguite senza una preventiva allocazione delle risorse di rete. Le principali funzioni relative al controllo della connessione sono invece quelle di instaurare le connessioni virtuali, verificarne la qualità e rilasciarle quando non sono più necessarie.

Occorre notare che, come per il caso del sistema di segnalazione a Canale Comune N. 7 (CCSN7), anche in questo caso la rete che trasporta il traffico di segnalazione è, dal punto di vista logico, separata ed indipendente dalla rete che trasporta il traffico degli utenti. Anche in questo caso la segnalazione può essere di tipo associato o quasi associato.

Sul piano di controllo possono essere realizzati applicativi per la realizzazione di servizi avanzati di rete, quali i servizi supplementari, i servizi di rete intelligente.

8.2 Funzioni del piano di gestione

Gestione di rete

Le funzioni di gestione per le reti ATM risultano di notevole complessità a causa delle caratteristiche di grande flessibilità insite in questa tecnica.

Nel seguito si riportano sinteticamente i principali aspetti definiti in ambito internazionale riguardanti la gestione dei guasti e delle prestazioni delle connessioni ATM e la gestione del traffico:

- Gestione dei guasti e delle prestazioni - Le norme di esercizio e manutenzione definite oggi per il livello ATM comprendono le funzioni di gestione dei guasti e delle prestazioni. In particolare sono definite le funzioni di verifica e controllo delle prestazioni, di rivelazione, segnalazione e localizzazione dei guasti e dei difetti, e di protezione per la minimizzazione degli effetti dei guasti delle entità gestite. Queste funzioni sono dedicate alla supervisione delle connessioni virtuali (VP, VPC, VC, VCC); esse sono svolte tramite apposite celle di OAM e, in accordo con il modello dei protocolli ATM, sono riferite al livello fisico/trasmittivo e al livello ATM. Sono previsti cinque flussi di celle OAM, indicati con le sigle F1-F5. I primi tre flussi F1, F2 e F3 sono riferiti al livello fisico, mentre i flussi F4 e F5 sono riferiti alle connessioni rispettivamente di percorso virtuale (VPC) e di canale virtuale (VCC).
- Gestione del traffico - Le funzioni di gestione del traffico consentono di raccogliere, memorizzare ed elaborare i dati relativi al traffico presente nei vari elementi della rete e riguardano tre aree di applicazioni principali: la prima di queste aree è relativa alla raccolta dei dati del traffico offerto dalle connessioni instaurate nella rete al fine di permettere, da un lato una corretta tariffazione degli utenti, dall'altro il continuo controllo dei profili di traffico associati ai diversi servizi offerti per ottimizzare l'allocazione delle risorse di rete. La seconda area di applicazioni consiste nella rilevazione e nell'elaborazione dei dati relativi alle prestazioni offerte dalla rete (ad esempio, probabilità di perdita delle celle, probabilità di errore, ritardi trasmissivi, ecc.). La terza area è relativa all'esecuzione di tutte le procedure atte a mantenere la rete nelle normali condizioni operative ed a facilitarne il ripristino a seguito del verificarsi di stati di congestione.

I protocolli e le interfacce per la gestione degli apparati ATM sono coerenti con il contesto generale normativo della TMN: la strutturazione dell'informazione è ad oggetti, ed ai modelli informativi si accede tramite il protocollo *CMIP* (*Common Management Information Protocol*) o, più frequentemente nei prodotti attuali, il protocollo *SNMP* (*Simple Network Management Protocol*).

Gestione del servizio

Le funzionalità di gestione di servizi ATM assumono una complessità correlata alla ricchezza di prestazioni opzionali di cui i servizi ATM possono usufruire. In particolare, per quanto riguarda la commercializzazione e l'attivazione di servizi ATM risultano di particolare rilevanza le due funzioni qui di seguito elencate.

- Negoziazione con il cliente - Questa funzione è orientata a negoziare con il cliente le caratteristiche dei servizi ATM, a fronte delle sue esigenze di comunicazione e delle caratteristiche dell'offerta.
- Assegnazione delle risorse - Sono le funzioni attivate durante la fase di verifica di disponibilità e

dell'assegnazione delle risorse fisiche e logiche necessarie ad offrire il servizio richiesto dal cliente.

9. Conclusioni

La tecnica ATM è ormai comunemente accettata come base per lo sviluppo di servizi e soluzioni di rete a larga banda. Essa si sta via via sviluppando nell'ambito sia delle reti locali sia delle reti geografiche, proponendosi come tecnologia unificante delle reti e dei servizi di telecomunicazioni.

Accanto ai benefici di medio-lungo termine connessi con l'impiego di una tecnica standard con prospettive di applicazione universale, ATM presenta anche punti di debolezza, connessi soprattutto alla complessità delle sue funzioni più sofisticate, nonché alla sua innovatività, che comporta la necessità di una profonda revisione dei modi di progettare, realizzare e gestire le reti di telecomunicazioni ed i relativi servizi. Questa situazione implica una relativa incertezza riguardo ai tempi di disponibilità di prodotti e sistemi necessari per la effettiva realizzazione in rete su larga scala delle funzionalità più sofisticate previste per ATM. L'impegno in sede normativa è peraltro tuttora in corso sia in ITU-T sia in ATM Forum; dopo la fase di sistematizzazione di modalità, procedure e meccanismi di base, le attività hanno ora l'obiettivo di definire tutti gli aspetti evolutivi (protocolli, funzioni, interfacce) connessi appunto con un impiego più efficace e generalizzato della nuova tecnica nelle reti di telecomunicazioni.

Questo articolo, sulla base dei concetti generali della tecnica ATM già presentati in precedenti lavori pubblicati su questa stessa rivista [1] [2], ha inteso complementare ed ampliare gli aspetti più propriamente connessi ai modelli di protocollo ed alle funzioni di rete. Una enfasi particolare è stata data alle funzioni relative al livello ATM, preposto al trasporto delle celle attraverso la rete, e in particolare alla presentazione del concetto di commutazione ATM e delle varie categorie di trasporto (ad esempio VBR, ABR), in parte già definite e in parte ancora in fase di standardizzazione, che tendono a valorizzare le proprietà della moltiplicazione statistica ATM per l'impiego ottimale delle risorse di rete (mezzi trasmissivi e nodi di commutazione).

In questo articolo sono state anche brevemente trattate le funzioni di adattamento (protocolli AAL) necessarie per adeguare il trasporto delle informazioni basato sulle celle ATM alle esigenze specifiche dei vari servizi offerti dalla rete; si è voluto infine dare qualche cenno alle funzioni dei piani di controllo e di gestione delle reti ATM, rimandando ad una trattazione maggiormente approfondita su questi importanti aspetti a successivi articoli di prossima pubblicazione su questa stessa rivista nell'ambito del ciclo ATM.

Abbreviazioni

AAL	=	ATM Adaptation Layer
ABR	=	Available Bit Rate
ATD	=	Asynchronous Time Division
B-ISDN	=	Broadband Integrated Service Digital Network
CAC	=	Connection Admission Control
CBDS	=	Connectionless Broadband Data Service
CBR	=	Constant Bit Rate
CLP	=	Cell Loss Priority
CMIP	=	Common Management Information Protocol
CS	=	Convergence Sublayer
DBR	=	Deterministic Bit Rate
GFC	=	Generic Flow Control
HEC	=	Header Error Control
MCR	=	Minimum Cell Rate
NNI	=	Network Node Interface
NPC	=	Network Parameter Control
PCR	=	Peak Cell Rate
PT	=	Payload Type
PTI	=	Payload Type Indicator
OA&M	=	Operation Administration and Maintenance
RM	=	Resource Management
SAR	=	Segmentation And Reassembly
SMDS	=	Switched Multimegabit Data Service
SNMP	=	Simple Network Management Protocol
SRTS	=	Synchronous Residual Time Stamp
STM	=	Synchronous Transfer Mode
TMN	=	Telecommunication Management Network
UBR	=	Unspecified Bit Rate
UNI	=	User Network Interface
UPC	=	Usage Parameter Control
VBR	=	Variable Bit Rate
VCC	=	Virtual Channel Connection
VCI	=	Virtual Channel Identifier
VPC	=	Virtual Path Connection
VPI	=	Virtual Path Identifier

Bibliografia

- [1] Fioretto, G. : *La standardizzazione nelle telecomunicazioni*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia» Vol. 5, n.1, maggio 1996.
- [2] Garetti, E., Pietroiusti, R. : *ATM-Aspetti generali*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia» Vol. 5, n.1, maggio 1996.
- [3] Garetti, E., Pietroiusti, R. : *ATM-Aspetti di rete*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia» Vol. 5, n.1, maggio 1996.



Enzo Garetti si è laureato nel 1970 in Ingegneria Elettronica presso il Politecnico di Torino, ed ha lavorato dallo stesso anno in CSELT, nei campi dell'elaborazione della segnalazione telefonica, dell'affidabilità di sistema, delle reti di connessione numeriche a banda stretta ed a larga banda, dei sistemi di commutazione B-ISDN basati sulla tecnica ATM e della pianificazione di rete. Ha collaborato a progetti RACE ed EURESCOM ed ha contribuito alla standardizzazione internazionale. E' stato

responsabile di Funzione nel campo dei Sistemi di Commutazione e dell'Unità di Ricerca Architetture di Rete e Numerazione. Oggi opera in staff presso la Direzione Commutazione e Servizi di Rete di CSELT. E' autore di numerose pubblicazioni tecniche.



Romolo Pietroiusti si è laureato in Ingegneria Elettronica nel 1972 presso l'Università degli Studi "La Sapienza" di Roma. Dopo un periodo di attività di ricerca svolta presso la Fondazione Ugo Bordoni, nel 1976 è stato assunto in SIP (oggi Telecom Italia) ove oggi ricopre la carica di responsabile del settore Architetture di Rete nella Divisione Rete di Direzione Generale, operando prevalentemente nel campo delle reti e dei

servizi multimediali a larga banda, delle comunicazioni personali (PCS) e dei servizi avanzati di interconnessione (internetworking). Ha svolto un'intensa attività internazionale, spesso con incarichi di responsabilità, ed è autore di numerose pubblicazioni tecniche.



Federico M. Renon si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Pavia, ed ha lavorato dapprima nel Gruppo Sistemi Spaziali Aeritalia (ora Alenia Spazio), dove si è occupato di attività di laboratorio, di specifica e di realizzazione di sistemi di controllo per satelliti, nell'ambito del programma SAX. Dal 1990 è passato allo CSELT di Torino, nel settore delle reti ad alta velocità, ove si è occupato della definizione e specifica di soluzioni e servizi per reti metropolitane; è ora responsabile della

Unità di Ricerca "Sviluppo servizi e soluzioni di rete", nell'ambito della Direzione "Commutazione e servizi di rete". Opera, sia in ambito di ricerca sia in ruolo di supporto a Telecom Italia, per la definizione architeturale, la specifica e la realizzazione di soluzioni di rete e servizi innovative, quali quelle basate su networking IP ed ATM (Pilota ATM Europeo e Nazionale, rete SIRIUS, rete ATMosfera). Partecipa ad Enti internazionali di normativa e specifica (ETSI, ITU-T, ATM Forum, DAVIC), ed a progetti cooperativi in ambito EURESCOM ed ACTS.

Tipologie e prestazioni degli apparati ATM

CLAUDIO BROSCO

FLAVIO FERRERO

SILVIO VALEAU

Il consenso internazionale acquisito dall'ATM negli ultimi anni attraverso lavori di specifica negli ambiti normativi, nelle sperimentazioni in contesti di ricerca e nelle prime apparizioni sul campo di prodotti di prima generazione, ha fatto di questa tecnica un elemento chiave nell'evoluzione della commutazione e, in generale, delle architetture di rete. L'ATM è oggi quindi uno dei cardini su cui poggiano le strategie di sviluppo dei Gestori e, a conferma di questi orientamenti, si collocano le prime iniziative commerciali basate su ATM ed avviate in Europa e negli Stati Uniti d'America sin dal 1995.

Stimolate dalle richieste del mercato, le società manifatturiere hanno reso disponibili, in tempi relativamente brevi se raffrontati con le precedenti evoluzioni tecnologiche, prodotti di prima generazione in grado di rispondere alle esigenze attuali e nello stesso tempo proiettati in un processo di maturazione, in cui le iniziative di operatori, Costruttori ed utenti convergono verso soluzioni di rete avanzate ed innovative.

Questo articolo ha l'obiettivo di fornire una panoramica sull'attuale disponibilità di apparati ATM e di porre in luce alcune caratteristiche peculiari legate all'introduzione di questa tecnica: di presentare cioè l'orientamento a rendere disponibili soluzioni ATM applicabili in settori eterogenei di business, evidente nelle tipologie di prodotti sviluppate, e d'altra parte di illustrare la molteplicità degli attori nel mercato nascente caratterizzato dall'ingresso di nuovi Costruttori provenienti dal settore dell'Information Technology.

1. Introduzione

Lo sviluppo della tecnica ATM, condotto sin dal 1985 nei maggiori ambiti normativi e di ricerca, e transitato poi attraverso sperimentazioni di laboratorio ed esperienze pilota in campo, sta oggi approdando ad una fase di offerta alla Clientela, che, seppure nell'altalenarsi di dubbi e di esaltazioni tipiche dei primi passi di ogni tecnologia, costituisce già un primo segnale evidente del suo successo.

Un numero estremamente elevato di pagine di libri, di memorie di conferenze e di rapporti di analisi è stato scritto sui cosiddetti fattori trainanti e su quelli abilitanti, che hanno favorito la maturazione dell'ATM da oggetto di interesse a soggetto primario nella evoluzione delle reti di telecomunicazione [1]: la disponibilità di infrastrutture in grado di garantire una maggior qualità trasmissiva, lo sviluppo di architetture informatiche "client-server", la diffusione sempre più capillare dei personal computer, la riduzione dei costi della componentistica, il consenso su standard ("de-jure" e "de-facto") di validità internazionale, hanno costituito e continuano a rappresentare le premesse per la suddetta maturazione.

L'azione congiunta di fattori più propriamente

trainanti - quali le richieste di maggior capacità, di una elevata qualità e della riduzione dei costi, emerse in particolare in ambito intra-aziendale, il processo di evoluzione del "business" che porta le Aziende stesse ad operare su ambiti geografici più estesi, lo sviluppo di nuove applicazioni multimediali per il mercato affari ma anche per quello "consumer", la necessità congiunta di integrare le diverse componenti video, voce e dati del traffico - ha dato l'impulso necessario per una ampia accettazione della nuova tecnica sul mercato [2] [3].

Gestori, Costruttori e Clienti hanno condiviso questa visione negli ultimi anni ed hanno perciò ritenuto opportuno allestire sperimentazioni basate su prodotti di prima generazione, orientate ad una Utenza Pilota, in genere legata al mondo accademico. Il contesto su cui primariamente si è concentrata l'attenzione è stato quello di "corporate networking" e, di conseguenza, i prodotti che per primi hanno ricevuto uno stimolo di crescita e di consolidamento dal mercato sono stati quelli dedicati alla realizzazione di reti multiservizio geografiche e locali [4].

Nell'ambito esteso dal punto di vista geografico, le prime sperimentazioni hanno messo in luce la necessità di offrire sistemi dotati di un approccio multiser-

ATM DAL LABORATORIO AL SERVIZIO

- ATM è in fase di maturazione da oggetto di ricerca a cardine fondamentale delle reti di telecomunicazione di nuova generazione.
- Sperimentazioni e progetti Pilota, sviluppate a partire dal 1993, si sono concentrate sui requisiti di reti Aziendali (corporate networking).
- In ambito geografico sono in fase di sviluppo da parte dei maggiori Gestori, prime reti commerciali ATM orientate al supporto di servizi dati (IP, Frame Relay, ATM permutato)

vizio, in grado di permettere, con l'introduzione di servizi ATM permutati, una maggiore valorizzazione di servizi già disponibili sul Mercato (ad esempio Frame Relay, SMDS, IP). La maggioranza dei Gestori europei ed americani sta procedendo allo sviluppo di reti sovrapposte dotate di un "motore" ATM, ma capaci di sostenere una pluralità di servizi con diversi livelli qualitativi: si tratta in genere, di reti caratterizzate da scelte monotecnica ai vari livelli funzionali (accesso, dorsale, routing), ed in cui sono utilizzati sistemi ancora a limitata capacità (si parla, tuttavia, di decine di Gbit/s) prodotti da "nuovi entranti" del settore (ad esempio Stratacom, Newbridge, e General DataComm).

Nel contesto più strettamente locale, nel quale la valorizzazione dell'esistente, inteso anche come strutture di cablaggio e strumenti di gestione, rappresenta pure un valore primario, l'ATM ha visto le sue prime affermazioni in termini di sistemi di dorsale in grado di raccogliere il traffico proveniente da LAN, server e stazioni di lavoro ad elevate prestazioni.

Anche in questo ambito i "nuovi entranti" sopra menzionati hanno acquisito posizioni di mercato a fianco di costruttori tipici del mondo dell'"Information Technology" - già operanti in questo settore - quali ad esempio Bay, Cisco ed IBM.

L'ATM è sottoposto in questo caso ad una maggiore concorrenza dal punto di vista tecnologico causata anche dalla crescita in velocità di soluzioni già ampiamente diffuse (ad esempio da Ethernet a 10 Mbit/s a Fast Ethernet a 100 Mbit/s) e dall'evoluzione delle architetture locali da accesso condiviso (a "bus") a quello commutato. Si tratta in effetti, più che di concorrenti, di precursori dell'alta velocità in ambito locale, dove l'ATM, attraverso ulteriori riduzioni nei costi e consolidamenti tecnici, potrà trovare spazi ed opportunità crescenti.

Il grado di maturità raggiunto dalle tipologie di sistemi citate - nodi di rete multiservizio e di dorsale locale - pone i primi tasselli concreti in un processo di evoluzione che vede nell'ATM l'elemento portante per la realizzazione di soluzioni complete in grado di garantire il trasferimento dell'informazione da estremo a estremo in modo ottimizzato [5]. Sono oggi disponibili apparati ATM a vari livelli ed a vari stadi di maturità; rete estesa dal punto di vista geografico, raccolta multiservizio, dorsale locale, rete locale "workgroup", ed anche interfacce per l'interconnessione con sistemi quali diramatori (router), personal computer e stazioni di lavoro (workstation). Apparati ed interfacce che tro-

veranno opportune collocazioni nello sviluppo della rete pubblica verso servizi multimediali interattivi e diffusivi, nell'integrazione con la rete di base esistente, nell'identificazione di soluzioni ATM adeguate per il trasporto della voce, nella graduale compenetrazione di realtà esistenti per il trasferimento dell'informazione, oggi adiacenti (ATM/Internet, routing /switching), e presumibilmente per gli sviluppi in altri orizzonti oggi non prevedibili.

A

TM, dove e come

2. Classificazione dei prodotti

Per un'analisi strutturata degli apparati di rete sembra opportuno classificarli in base all'impiego di ciascun prodotto. Sono stati identificati a questo scopo le seguenti classi di sistemi: *desktop*, *workgroup*, *rete dorsale Aziendale*, *accesso multiservizio* e *rete estesa dal punto di vista geografico*.

- *Desktop*: apparati da tavolo, quali PC (Personal Computer) e WS (Workstation-stazioni di lavoro), per i quali l'impatto dell'ATM riguarda le modalità di interconnessione con la rete;
- *workgroup*: apparati per la realizzazione di reti in ambito locale in grado di interconnettere decine di PC/WS. Essi non sono dotati di particolari sistemi di ridondanza, ed hanno capacità intorno ai 2-3 Gbit/s; sviluppati per offrire un buon rapporto costo/prestazioni e sono idonei a soddisfare Gruppi di lavoro con particolari esigenze in termini di velocità delle infrastrutture di comunicazione;
- *dorsale Aziendale*: apparati predisposti per costituire l'ossatura principale di reti Aziendali. Sono dotati di sistemi che garantiscono un minimo livello di affidabilità (ad esempio ridondanza dell'alimentazione, inseribilità dei moduli con apparato in funzione) e presentano una capacità che varia dai 4 ai 10 Gbit/s;
- *accesso multiservizio*: apparati per la fornitura di servizi eterogenei posti ai bordi della rete pubblica; dotati di sistemi di ridondanza di un certo rilievo, con capacità di commutazione variabile da 4 a 10

Gbit/s, con interfacce e funzionalità di servizio, posizionabili sia presso il Cliente sia presso le centrali dell'operatore pubblico per realizzare una rete d'accesso per la raccolta di traffico;

- *rete estesa dal punto di vista geografico*: apparati per la realizzazione di reti di Gestori pubblici; questi sono dotati di sistemi di ridondanza particolarmente efficaci, con capacità minime dell'ordine dei 10 Gbit/s, sono strutturalmente predisposti ad ulteriori crescite modulari in capacità fino a 80-100 Gbit/s (1024 porte) a seconda delle esigenze del Gestore di rete.

Possono essere considerati a parte i *router*: questi sono apparati che permettono l'instradamento dei dati in un ambito di utilizzo che spazia ormai dal "workgroup" alle "reti estese dal punto di vista geografico" (vedi Internet, ma anche diverse reti, installate negli ultimi anni, dagli operatori di telecomunicazioni tradizionali) ed, il cui ruolo, congiuntamente all'ATM, tende a diventare sempre più significativo nelle reti di futura generazione.

La fig. 1 riporta il campo di applicabilità di soluzioni

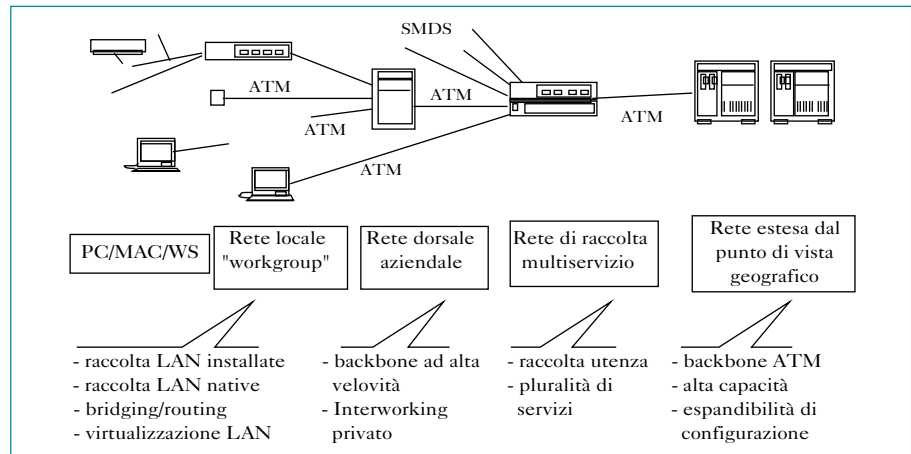


Figura 1 Esempi di applicabilità di soluzioni ATM.

di utilizzo dell'ATM direttamente dai terminali e indicazioni su quale sia la cosiddetta "killer application" che renderà questa tecnica indispensabile.

Da questi dati emerge che ben pochi prevedono di utilizzare a breve l'ATM fino al tavolo di lavoro ("desktop"), anche se alcune analisi di mercato segnalano che negli Stati Uniti entro l'anno 2004 la metà circa dei PC e l'87 per cento delle stazioni di lavoro Unix saranno presumibilmente collegati direttamente alle reti ATM. Anche sulla "killer application" il dibattito è tuttora aperto, poichè la politica è stata quella di fornire prestazioni utilizzabili anche su reti, quali Ethernet, già ampiamente diffuse a livello commerciale [6].

Le cause di questo momentaneo rallentamento dell'ATM a livello desktop sono da ricercare nel costo elevato degli adattatori da installare nelle stazioni di lavoro (dai 500 dollari in su a seconda del tipo di stazione e dell'interfaccia fisica desiderata) e nell'incapacità strutturale della maggior parte dei PC e delle stazioni di lavoro (WS) già installate di utilizzare realmente tutta l'enorme capacità di comunicazione messa a disposizione. Va tuttavia ricordato che a partire dal 1993 i prezzi degli adattatori si sono dimezzati ogni anno. Le difficoltà presenti potrebbero quindi in un prossimo futuro diminuire d'importanza.

La recente introduzione del bus *PCI (Protocol Control Information)*, che ha una capacità di 1 Gbit/s, all'interno

ATM nell'Azienda

ATM relative agli ambiti di rete fin qui considerati.

3. ATM al "Desktop"

Sulle riviste specializzate sono stati pubblicati negli ultimi anni, con cadenza bimestrale o trimestrale, istogrammi relativi a risultati di indagini e previsioni

ATM OGNI NODO AL SUO POSTO ED UN POSTO PER OGNI NODO

- I prodotti ATM sono classificabili in funzione della tipologia d'impiego; sono identificabili le seguenti classi di sistemi: Desktop, Workgroup, Dorsale Aziendale, Accesso multiservizio, Rete estesa dal punto di vista geografico e Router.
- La disponibilità di apparati ATM classificati in queste categorie, rende possibile realizzare oggi soluzioni da estremo ad estremo della rete.
- La valutazione dei nodi è basata su considerazioni di natura "funzionale" (prestazioni di servizio e conformità a standard) e "strutturale" (affidabilità, esercibilità e potenzialità di crescita).

delle più moderne stazioni di lavoro e la consapevolezza di poter disporre di banda dedicata, forniranno quasi sicuramente nuove possibilità per l'impiego dell'ATM a livello di "desktop", con un miglior rapporto costo/prestazioni. Sono già state annunciate le prime schede di adattamento ATM anche per questo tipo di bus.

3.1 Prodotti e Costruttori

I primi adattatori ATM sono stati realizzati con interfacce fisiche a 100 Mbit/s in fibra ottica multimodale [7]. Con l'avvio della disponibilità sul mercato di dispositivi in silicio che realizzano, a costi relativamente bassi, l'interfaccia *SDH (Synchronous Digital Hierarchy)* a 155 Mbit/s, questa sembra raccogliere il maggior numero di consensi sia per i raccordi con fibra ottica multimodo sia in quelli più tradizionali realizzati con rilegamenti in rame *UTP (Unshielded Twisted Pair)*. La fig. 2 illustra la foto di una tipica unità di adattamento ATM per una stazione di lavoro.

Le stazioni di lavoro con sistema operativo Unix sono state le prime ad avere a disposizione adattatori per reti ATM ed oggi sono molti i Costruttori di adattatori ATM per *S-bus (SUN bus)*. Per i PC la situazione è più incerta: nel settembre del 1994 solo la *FORE Systems* disponeva di un adattatore ATM per PC su bus *EISA (Extended Industry Standard Architecture)*, non a livello prototipico ma commerciale; oggi essa dispone anche dell'adattatore per "Micro Channel" IBM. Questa incertezza è causata presumibilmente dall'investimento ridotto da parte delle Aziende produttrici del software (ad esempio Microsoft e Novell): i Costruttori di adattatori hanno dovuto infatti realizzare soluzioni proprietarie per poter utilizzare Windows NT (ed ora Windows '95) con l'ATM. La stessa Microsoft invece con Intel ed altri otto Costruttori stanno conducendo prove di interoperabilità sulle prime realizzazioni di ATM API (*Application Programming Interface*) per applicazioni native ATM in ambiente Window (sia NT sia Windows '95).

Chi sta svolgendo in questi ultimi tempi un'azione promozionale molto efficace in questo settore è l'IBM, che ha promosso a livello di standard "ATM Forum" l'interfaccia ATM a 25,6 Mbit/s: l'IBM offre oggi interfacce ATM per stazioni di lavoro *ISA (Industry Standard Architecture)* a prezzi tendenti ai livelli di quelli degli adattatori per le reti Ethernet. Sono inoltre in fase di rilascio anche adattatori a 25,6 Mbit/s per Micro Channel.

Un sistema di commutazione ATM, che offre interfacce a 25,6 Mbit/s, è stato sviluppato congiuntamente dalla *FVC (First Virtual Corporation)* e dalla *ATML (Advanced Telecommunications Modules Ltd.)*. L'apparato fa parte di un'offerta che la FVC ha messo a punto per portare rapidamente l'ATM al "desktop". Questa

offerta comprende adattatori per stazioni di lavoro, un sistema operativo che offre interfacce di programmazione, definite dalla stessa FVC, ed applicativi per lavoro cooperativo e per videoconferenza. Questi sviluppi sono stati effettuati per dare risalto alle capacità dell'ATM di offrire servizi multimediali, pur contenendo i costi della migrazione verso la nuova tecnologia.

Nell'ultima parte dello scorso anno si è infine osservata una crescita di consensi verso la tecnologia "Fast-Ethernet" (Ethernet a 100 Mbit/s): con la disponibilità di nodi di commutazione locale e di server che possono essere collegati sia a Fast Ethernet sia ad Ethernet, l'impiego di questa tecnologia per l'introduzione dei server in rete si sta gradualmente diffondendo.

La Tab. 1 presenta un confronto qualitativo tra alcuni dei principali prodotti presenti sul mercato.

3.2 Stato dell'arte presente ed evoluzioni future

Questo ambito di impiego dell'ATM è in costante evoluzione anche per le sensibili riduzioni di prezzo: si passa, infatti, dai 2.500 dollari dei primi adattatori per stazioni di lavoro Unix (1993) ai 500 dollari degli adattatori con interfacce ATM da 51 a 155 Mbit/s del 1995.

Dal punto di vista architetturale si assiste anche al consolidarsi dei seguenti miglioramenti:

- gli adattatori sono dotati di una sempre crescente capacità elaborativa ed intelligenza;
- si opera in presenza di una proliferazione di prodotti per tutti i principali tipi di bus di cui le stazioni di lavoro sono dotate;
- le velocità di trasmissione non sono limitate più ai soli 100-155 Mbit/s ma si cercano nuove soluzioni (quali ad esempio, 25 Mbit/s e 51 Mbit/s) per poter migliorare il rapporto costo/prestazioni;
- il problema di una riduzione di costo è inoltre affrontato con una segmentazione dell'offerta tra adattatori per "client" e adattatori per "server";
- entro l'anno saranno completamente standardizzati il protocollo IP [8] [9] e l'emulazione di LAN (soluzione di interlavoro tra LAN esistenti e ATM, definita in ambito "ATM Forum") [10].

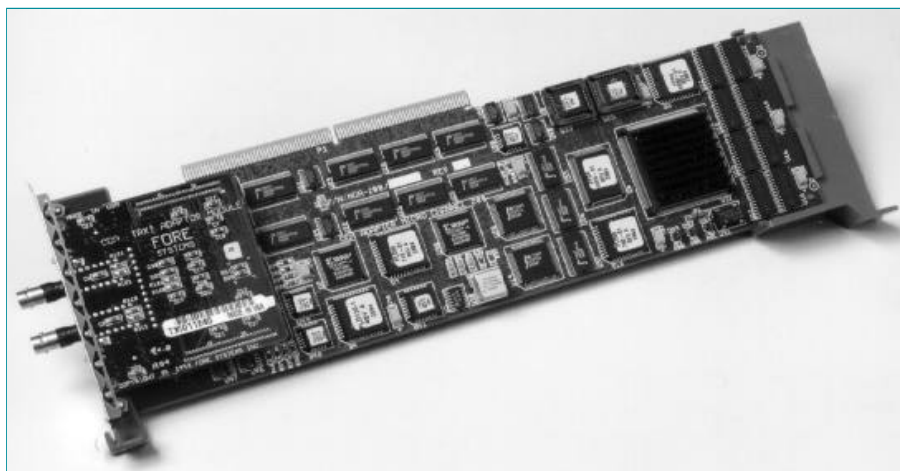


Figura 2 Adattatore di terminale ATM (apparato FORE).

Adattatori di terminali ATM					
Requisiti	Produttore				
	FORE Systems	IBM	3Com	Interphase	Olicom
Larghezza di banda	****	****	****	****	****
Adattamento ai bus	****	****	****	****	**
Livelli di adattamento permessi (AAL)	****	***	****	****	****
Controllo profilo di traffico ATM	**	*	*	*	*
Incapsulamento IP (RFC 1577)	****	****	****	****	****
Segnalazione UNI	***	***	****	****	****
Emulazione LAN (ATM Forum)	****	****	****	****	****
Esercibilità	***	nv	nv	nv	nv
Scalabilità	***	nv	nv	nv	nv
Affidabilità	***	nv	nv	nv	nv

nv: non valutato

Tabella 1 Confronto tra differenti adattatori per terminali ATM (dati aggiornati a dicembre '95).

4. ATM per workgroup e per rete dorsale Aziendale

I primi prodotti ATM per l'ambito privato immessi sul mercato nel 1993 puntavano a "saggiare il terreno" per capire le effettive potenzialità di questo mercato. La capacità di questi apparati, tuttora denominati "sistemi per workgroup", va quindi mediamente da 0,5 a 2,5 Gbit/s ed è distribuita su 12-16 porte ATM a 100-155 Mbit/s. Entro l'anno molti Costruttori doteranno i propri apparati anche di interfacce a 51 Mbit/s (OC-1) ed a 25 Mbit/s.

Questi apparati saranno impiegati inizialmente anche in ambito di rete "dorsale Aziendale", ma si ritiene che nel breve-medio termine la capacità richiesta ai dispositivi per "dorsale Aziendale" sia di 10 Gbit/s. Molti Costruttori hanno già in corso di sviluppo apparati con questa velocità di cifra. Potranno perciò essere distinti nettamente gli apparati per rete "dorsale Aziendale" da quelli per "workgroup". La fig. 3 riporta la foto di un tipico dispositivo ATM atto ad operare in questi ambiti di rete: più precisamente la foto mostra il sistema IBM 8260 utilizzato generalmente come apparato per "workgroup", ma adatto anche per l'utilizzo nell'ambito di una rete "dorsale Aziendale".

Sulla spinta della grande pubblicità data all'introduzione dell'ATM nelle reti locali, molte Aziende del settore si sono attrezzate per offrire prodotti ATM ed altre sono nate specificatamente per costruire prodotti ATM.

Il caso degno di maggiore attenzione riguarda la FORE Systems che, nata con l'ATM, ha rapidamente conquistato una grossa porzione di questo mercato, avendo venduto a giugno del 1994 apparati ASX-200 (2,5 Gbit/s, fino a 24 porte a 100 Mbit/s) per più di 10000 porte ATM.

Altre Aziende molto attive nel settore sono:

3Com, Bay Networks, Cisco, Cabletron, Connectware, Digital Equipment, First Virtual Company, GDC (*General Data-Comm*), IBM, NSC (*Network Systems Corporation*), Newbridge, UB (*Ungermann Bass Networks*) e Whitetree.

4.1 Prodotti e Costruttori

Il Costruttore 3Com propone una "HPSN (*High-Performance Scalable Networking strategy*)" basata sul permutatore/commutatore *CELLplex 7000 ATM* (16 porte, 2,5 Gbit/s) ma comprendente anche altri elementi quali, ad esempio, router, adattatori e convertitori Ethernet/ATM (denominati "ATMizer") per Emulazione di LAN. Per realizzare questi sistemi 3Com ha acquisito in un anno ben dodici società esterne, ciascuna in grado di coprire o aiutare a coprire i differenti settori dell'offerta complessiva.

Bay Networks, nata dalla recente fusione di Synoptics e Wellfleet, ha invece allestito il *BAYSIS (BAY networks Switching Internetworking System)*, dove i pro-

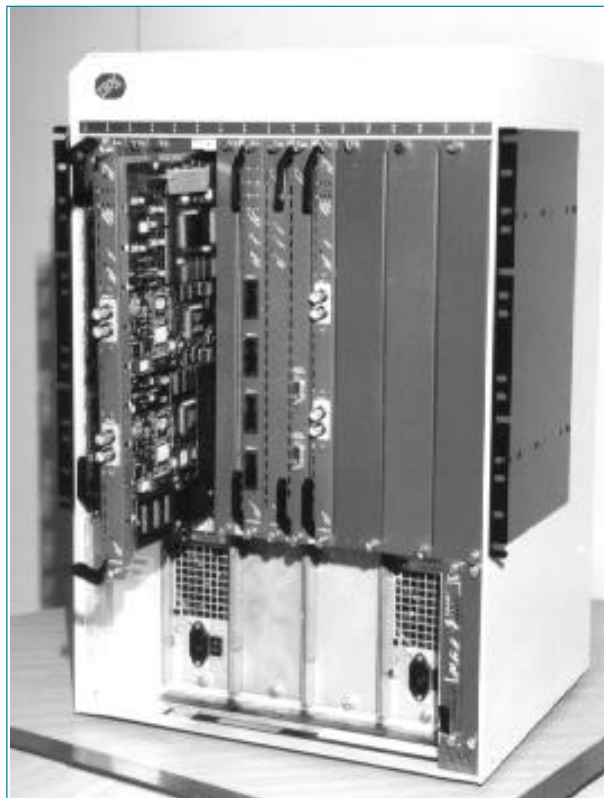


Figura 3 Apparato ATM per "workgroup" (apparato IBM 8260).

dotti dei due Costruttori (hub, bridge e router) si integrano con il commutatore ATM *LattisCell* (16 porte, 2,5 Gbit/s): Bay Networks dichiarava di averne venduti più di cinquecento alla fine del 1994. Anche in questo caso l'offerta ATM include convertitori "frame-celle" e adattatori ATM per terminali e router.

Sempre con una politica di acquisizione di Aziende esterne, *Cisco* sta allestendo *CiscoFusion*. L'offerta precedente (router, bridge ...) è stata completata con l'apparato di commutazione ATM *Hyperswitch A100* (16 porte, 2,5 Gbit/s), oggi denominato *LS100*, realizzato in collaborazione con la NEC (hardware NEC e software Cisco). E' stato annunciato di recente che il prodotto *LS100* sarà sostituito da quello *LS1010*, le cui caratteristiche fondamentali non differiscono da *LS100* sostanzialmente in termini quantitativi (numero di porte, banda complessiva) ma sono diverse in termini funzionali e di qualità (segnalazione, classi di servizio ...).

Un secondo prodotto ATM è stato inserito nell'offerta Cisco dopo la recente acquisizione della *Lightstream*. Il prodotto è denominato *LS2020* (2 Gbit/s, 9 porte 155 Mbit/s).

Date le sue caratteristiche tecniche, l'apparato potrebbe rientrare, per capacità di commutazione, nella fascia per "workgroup"; tuttavia per come esso si presenta, sia strutturalmente sia in termini di ridondanza delle parti, lo si può considerare appartenente alla categoria di sistemi per "rete dorsale Aziendale". Inoltre *LS2020*, disponendo di interfacce per reti locali (Ethernet, FDDI) e di servizio (Frame Relay), potrebbe essere incluso tra i sistemi di accesso multiservizio.

Dopo un periodo di assenza dal mercato, la Digital Equipment si presenta con *enVISN* (*enterprise Virtual Intelligent Switched Networks*), il sistema di apparati per l'interconnessione tra reti (internetworking) in ambito privato che può contare su un apparato molto potente, il *GIGASwitch/ATM* (10,2 Gbit/s, 13 flussi a 800 Mbit/s), anch'esso dotato di interfacce a 155 Mbit/s ed a 622 Mbit/s. IBM offre per il settore delle reti ATM "workgroup" il *Multiprotocol Intelligent Switching Hub 8260*, che è un apparato di commutazione ATM in grado di realizzare funzioni di "LAN emulation" proprietaria, con capacità di 3,6 Gbit/s. Non è al momento disponibile l'interfaccia E3 (34 Mbit/s). Come evoluzione del sistema è stata anche annunciata per la fine dell'anno la disponibilità del prodotto IBM 8285, di fascia leggermente inferiore, che disporrà di dodici porte a 25 Mbit/s e di una porta a 155 Mbit/s. Per quanto riguarda l'ambito di rete "dorsale", sarà presto disponibile sul mercato il sistema *Nways BroadBand Switch 2220*: questo prodotto è basato su una matrice 16x16 con capacità 4,2 Gbit/s (modello 500) ed è stato studiato

per essere utilizzato nella realizzazione di una rete dorsale ATM nell'ambito di reti Aziendali private, con l'impiego eventuale di interfacce di servizio dichiarate disponibili. Sembrerebbe quindi più opportuno considerare questo sistema come appartenente alla categoria dei sistemi di accesso multiservizio. La *FORE Systems* già citata, con il suo *ASX-200* nelle differenti versioni (BX e BE) e con il nuovo prodotto *WANswitch* a 10 Gbit/s, ha al momento la migliore posizione sul mercato *workgroup* ed è senza dubbio la più attiva, sia nella produzione di permutatori e di commutatori ATM sia di adattatori per terminali. La *FORE System* è anch'essa alla ricerca di apparati che consentano di rendere più completa la propria offerta. Non avendo infatti, le conoscenze e le potenzialità per intraprendere anche la produzione di router, "LAN switch", ha siglato accordi con la *Net Edge* e la *Cabletron* per colmare queste lacune.

Le Tab. 2 e 3 presentano il confronto tra alcuni dei principali prodotti presenti sul mercato.

4.2 Stato dell'arte presente ed evoluzioni future

Sul mercato operano oggi molti altri Costruttori di sistemi ATM non citati. In questo articolo si è infatti cercato di riportare, sulle basi delle conoscenze oggi disponibili, solo quelli che, o per dimensioni Aziendali o per disponibilità di prodotti, paiono in grado di acquisire nel breve-medio termine significative quote di mercato e con i quali si può ipotizzare di avviare il processo di potenziamento della rete locale utilizzando la tecnica ATM [11]. Non è infatti solo l'ATM ciò che interessa ai "Network Managers" ma l'adeguamento delle strutture a costi proporzionali ai benefici ottenibili e con un rischio estremamente ridotto [12].

I prodotti citati precedentemente si possono ancora considerare prodotti di prima generazione, che pre-

Sistemi ATM per workgroup					
Requisiti	Apparato				
	FORE Syst. ASX-200	BAY Networks LattisCell	3Com CELLplex 7000	Cisco LS100	IBM 8260 Multiprotocol Intelligent Switching Hub
Banda aggregata massima lorda	***	***	***	***	****
Numero e tipo di porte ATM	****	****	***	***	**
Controllo del traffico	***	**	**	**	*
Gestione	***	***	***	***	***
Segnalazione	***	**	**	**	**
Esercibilità	***	***	nv	nv	nv
Scalabilità	***	***	nv	nv	nv
Affidabilità	***	***	nv	nv	nv

nv: non valutato

Tabella 2

Confronto tra differenti apparati ATM per workgroup (dati aggiornati a dicembre '95).

Sistemi ATM per rete dorsale aziendale				
Requisiti	Apparato			
	FORE Syst. ASX-200 WANswitch	Digital GIGAswitch/ATM	Cisco LS2020	3Com CELLplex 7200
Banda aggregata massima lorda	***	***	**	*** p
Numero e tipo di porte ATM	***	***	***	*** p
Interfacce non ATM per traffico utente	*	*	***	** p
Controllo del traffico	**	*	**	** p
Gestione	***	***	***	*** p
Segnalazione	**	**	***	** p
Esercibilità	nv	nv	**	nv
Scalabilità	nv	nv	***	nv
Affidabilità	nv	nv	***	nv

nv: non valutato p: previsto

Tabella 3 Confronto tra differenti apparati ATM per rete dorsale Aziendale (dati aggiornati a dicembre '95).

sentano le seguenti problematiche:

- la segnalazione è conforme alle raccomandazioni contenute nella prima versione delle specifiche ATM Forum [13] della *UNI (User Network Interface)*, ma è ormai in via di approvazione la nuova versione;
- ogni prodotto ha un sistema di gestione proprietario, anche se tutti utilizzano il protocollo *SNMP (Simple Network Management Protocol)*;
- l'efficace integrazione di dati, voce, video potrà essere garantita solo quando saranno disponibili le classi di servizio definite in ATM Forum ed allorché sarà stato realizzato un efficace sistema di controllo della congestione.

Una volta che questi problemi saranno stati risolti e l'interoperabilità sarà garantita per alcuni ambiti fondamentali, si potrà parlare di prodotti di seconda generazione; questo potrebbe avvenire all'inizio del prossimo anno.

ATM nel cuore della rete

5. Sistemi di accesso multiservizio

Questa categoria è quella che comprende il maggior numero di apparati: l'addensamento di prodotti e di

Costruttori è tutt'altro che casuale ed è il motivo dell'incertezza che ha caratterizzato la fase di avvio della tecnica ATM in un ambito Aziendale distribuito su più sedi ("corporate") geograficamente distribuite, che in parte ancora la contraddistingue.

Sono stati approntati come prodotti innovativi ma sono stati distribuiti con una apertura sia sul "passato (interfacce per emulazione di circuito G.703/G.704 [14])" sia al "presente (Frame Relay, SMDS)". La fig. 4 riporta lo schema di un sistema per l'accesso multiservizio ed alcune delle interfacce interessate sia lato utente sia lato rete.

Questi prodotti sono orientati a due ambiti distinti d'impiego: apparati in grado di effettuare solamente funzioni di moltiplicazione e di concentrazione dell'accesso ed apparati con capacità di permutazione o di commutazione e anche in grado di effettuare la moltiplicazione o la

concentrazione sia a livello ATM sia a livello superiore (ad esempio Frame Relay).

5.1 Multiplatori/concentratori

I multiplatori ed i concentratori costituiscono una evoluzione degli apparati denominati DSU (Data Service Unit), utilizzati come "terminazioni" per l'accesso a linee dedicate a 2 ed a 34 Mbit/s o linee numeriche a velocità più ridotta. Non a caso i principali Costruttori che operano in questo ambito sono gli stessi che sono presenti con gli apparati DSU (ADC Kentrox, Digital Link, Cellware...). Questi apparati sono caratterizzati da tre precisi obiettivi:

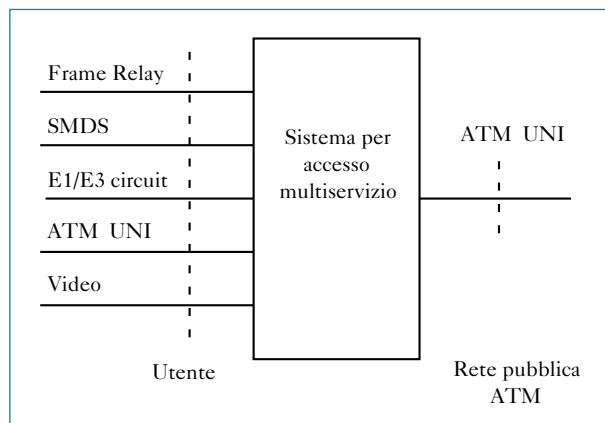


Figura 4 Sistema ATM per accesso multiservizio.



Figura 5 Multiplatore ATM per accesso multiservizio (apparato ADC Kentrox AAC-3).

- offrire lato utente numerosi tipi di interfacce di servizio;
- offrire lato rete le interfacce ATM previste dal servizio pubblico;
- raggiungere gli obiettivi citati mantenendo il miglior rapporto tra il prezzo e le prestazioni.

In generale si può affermare che questi sistemi sono stati progettati come "adattatori" tra due realtà differenti. Tuttavia in alcuni casi sono messe a disposizione dell'utente anche funzioni di permutazione minime. La fig. 5 mostra la foto di un tipico dispositivo di moltiplicazione/concentrazione per l'accesso multiservizio alla rete ATM.

5.2 Permutatori e commutatori

Questa seconda categoria di apparati raggruppa prodotti in grado di costituire una "dorsale Aziendale" o una rete di accesso ATM a livello di operatore pubblico, offrendo allo stesso tempo le funzionalità di moltiplicazione e di concentrazione di servizi.

In questo caso la presenza di funzionalità di permutazione e di commutazione è senza dubbio la caratteristica dominante del prodotto. La presenza di interfacce di servizio testimonia l'attenzione dei Costruttori a proporre prodotti che mantengano legami con i sistemi preesistenti, conservando un buon livello di integrazione.

5.3 Prodotti e Costruttori

Prodotti con sole funzionalità di *moltiplicazione e di concentrazione* sono stati di recente approntati dalle Manifatturiere. I Costruttori *ADC Kentrox* e *Digital Link*, importanti "attori" nell'ambito della produzione di DSU/CSU, hanno realizzato sistemi dapprima per accessi SMDS (Switched Megabit Data Service) [15] e quindi per la connessione a reti ATM.

Altrettanto attive in tempi recenti sono state la *Cellware*, Azienda tedesca, e la ben più nota *Philips*: la *Cellware* è molto attiva nell'offerta di servizi di emulazione di circuito, mentre la *Philips* è stata la prima a presentare sul mercato la possibilità di trattare l'inter-

connessione con sistemi che utilizzano l'*MPEG-2* (*Moving Picture Experts Group - 2*).

Considerando i *permutatori ed i commutatori*, i dati di mercato rilevati sul finire dello scorso anno da un'Azienda di consulenza [16] mostravano in prima posizione la *Stratacom* con i sistemi *BPX/AXIS* e *IGX* (22 per cento del mercato), quindi la *Newbridge* con i sistemi *36150/36170* (18 per cento) e, più distanziata, la *General DataComm (GDC)* con la serie *APEX* (8,5 per cento circa). Non è, del resto, casuale che questi tre Costruttori rappresentino le scelte di riferimento per le prime realizzazioni commerciali ATM dei principali Gestori pubblici europei: BT, France Télécom, Deutsche Telekom e Telecom Italia.

Stratacom BPX/AXIS rappresenta una piattaforma ATM multiservizio con una capacità complessiva di circa 10 Gbit/s, tecnicamente avanzata in termini di servizi (il meccanismo definito "Opticlass" consente il controllo e il miglioramento della qualità di servizio ATM, ad esempio ritardo, tasso di perdita di cella, all'interfaccia lato utente), di recupero in caso di guasti, mediante il meccanismo "Autoroute", e di trattamento del traffico in presenza di congestioni, con il meccanismo "Foresight". In fig. 6 è mostrata la foto del permutatore *Stratacom*.

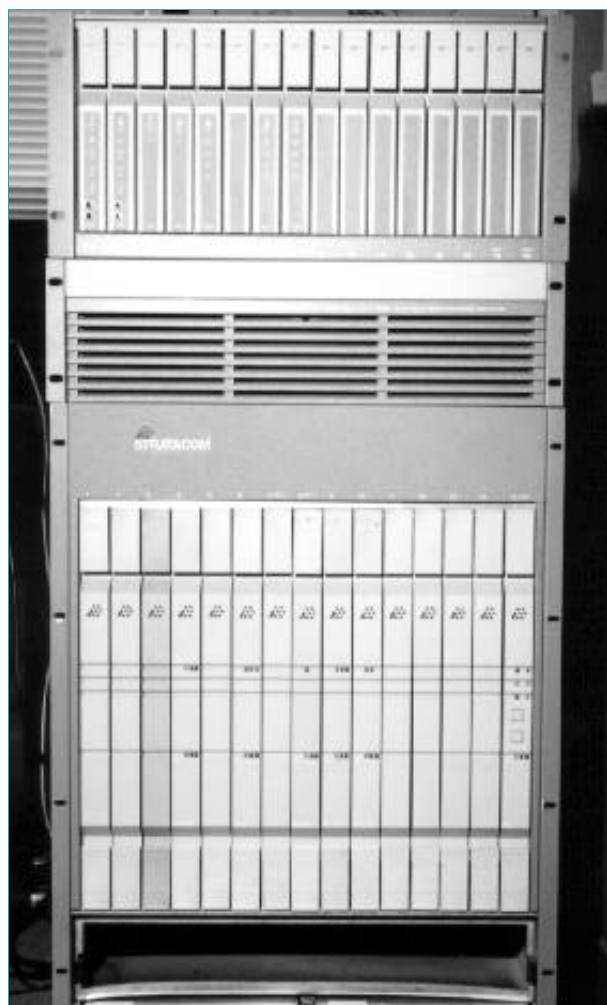


Figura 6 Permutatore ATM per accesso multiservizio (apparato Stratacom BPX).

IL MERCATO ATM ED I SUOI ATTORI

- In ambito locale l'ATM trova prime applicazioni per la realizzazione di dorsali Aziendali. I Costruttori tipici del settore Information Technology, quali ad esempio: IBM, CISCO, BAY Networks e FORE, prevalgono in questa fascia di mercato.
- Costruttori emergenti nella realizzazione di reti multiservizi, sono *new comer* quali ad esempio: Newbridge, Stratacom e General Data Comm.
- I Costruttori di telecomunicazioni tradizionali scelsero la fascia dei nodi ad alta capacità relativa a reti estese dal punto di vista geografico, anche se oggi stanno orientando i propri sviluppi anche verso le altre tipologie di rete.

L'approccio Newbridge è stato orientato ad una più estesa modularità di sistema e quindi dà la possibilità di collegarsi a interfacce con velocità diverse; inoltre consente l'integrazione con servizi esistenti e funzionalità gestionali e si basa su una linea completa di sistemi in grado di coprire tutte le esigenze di rete dall'ambito locale al networking multiservizio. L'Azienda canadese prevede inoltre uno sviluppo per il prossimo anno, insieme a Siemens, di un commutatore ATM per dorsali di rete con una capacità di 160 Gbit/s.

GDC APEX deve il suo iniziale successo alla disponibilità, già dal 1994, di un sistema ATM, adatto alla realizzazione di reti estese dal punto di vista geografico. Il sistema è forse oggi il più completo dal punto di vista delle interfacce di utente (sono disponibili anche interfacce video basate sullo standard *MPEG (Moving Picture Expert Group)*, mentre sta operando per potenziare le funzionalità di gestione del traffico in rete.

Visti i non ancora sensibili volumi di vendita, la situazione del mercato risulta essere estremamente variabile: da un lato i Costruttori che hanno già installato numerosi sistemi sono avvantaggiati dai rapporti avviati con il cliente; dall'altro i nuovi prodotti annunciati si presentano con livelli tecnologici e tecnici più elevati. Nel prossimo biennio, quando saranno adottate le prime iniziative commerciali su ATM da parte degli operatori (ad esempio l'offerta ATMosfera in Italia), si assisterà probabilmente ad un primo significativo assestamento delle posizioni dominanti. La Tab. 4 presenta il confronto tra alcuni dei principali prodotti presenti sul mercato.

5.4 Stato dell'arte presente ed evoluzioni future

Per quanto riguarda i dispositivi *DSU (Data Service Unit)*, l'evoluzione in atto è quella di integrare un numero sempre maggiore di interfacce di rete e di offrire capacità di banda elevata. Questo è il caso del moltiplicatore AAC-1 fornito da ADC Kentrox, realizzato come DSU ATM ma già in grado di fornire funzionalità di accesso multiservizio alla rete pubblica ATM. Digital Link commercializza invece la DSU ATM DL3202E, anch'essa come evoluzione della DSU per

Sistemi per accesso multiservizio permutatori/commutatori							
Requisiti	Apparato						
	General DataComm APEX-DV2	Newbridge MainStreet 36150	StrataCom BPX	IBM 2220 Nways BroadBand Switch	Alcatel HSS 1100 Serie 700	Eriesson AAU	Cascade B-STDx 9000
Banda aggregata massima lorda	***	**	****	*** p	****	****	**
Interfaccia ATM	****	***	***	*** p	***	***	***
Interfacce verso utente	***	**	**	** p	***	***	***
Interoperabilità verso rete pubblica	****	****	****	*** p	****	****	****
Interoperabilità verso utenza	***	***	***	*** p	***	***	***
Controllo del traffico	***	**	****	*** p	***	*	*
Controllo del profilo di traffico ATM	*	**	***	*** p	*	**	informazioni non disponibili
Gestione	***	**	***	*** p	***	***	***
Segnalazione	**	* p	* p	** p	**	**	**
Esercibilità	***	****	****	nv	nv	***	nv
Scalabilità	***	***	****	nv	nv	***	nv
Affidabilità	***	****	****	nv	nv	***	nv

nv: non valutato

p: pianificato

Tabella 4

Confronto tra diversi permutatori/commutatori ATM per accesso multiservizio (dati aggiornati a dicembre '95).

SMDS DL3200, e che in termini di interfacce, prestazioni e costi risulta essere in pratica equivalente al dispositivo AAC-1 di ADC Kentrox.

Per i permutatori ed i commutatori il controllo del traffico e la segnalazione sono senza dubbio gli aspetti ritenuti oggi più importanti e saranno oggetto di un crescente interesse nel corso dei prossimi due anni. Oggi sono comunque disponibili i primi prodotti commerciali che "affrontano" il problema del controllo del traffico secondo i metodi in corso di definizione presso l'ATM Forum. Il caso più significativo è quello del BPX Stratacom: su questo prodotto è stato realizzato un meccanismo di "controreazione", basato sullo scambio di messaggi tra nodi di rete, che agisce sulle risorse a monte dei nodi coinvolti da stati di congestione e limita temporaneamente alcuni flussi di celle secondo criteri di priorità.

Per quanto riguarda la segnalazione è ormai prossima la disponibilità di prodotti basati sulla versione 3.1 della User Network Interface dell'ATM Forum [18], ed in grado di offrire un buon livello di compatibilità con la raccomandazione Q.2931 ITU-T [17]. La prossima versione (UNI 4.0) recentemente approvata in ATM Forum dovrebbe ulteriormente rafforzare la convergenza con gli standard ITU-T.

6. ATM per rete estesa dal punto di vista geografico

Questo ambito è senza dubbio quello in cui primariamente sono attivi i Costruttori tradizionali del settore delle telecomunicazioni (Alcatel, Siemens, AT&T, Italtel), ma in cui più sta tardando ad emergere un impatto significativo. La motivazione principale sta presumibilmente nello sviluppo limitato del mercato, ma presenta anche aspetti di natura tecnologica.

Dopo le sperimentazioni effettuate in Europa ed in America negli anni 1993-95 è stato infatti avviato lo sviluppo di reti sovrapposte ATM, orientate ad esigenze di "corporate networking" e quindi al supporto precipuo di servizi dati, in particolare Frame Relay. Lo sviluppo di apparati ad elevata capacità sia in termini di traffico (centinaia di Gbit/s) sia di porte (migliaia) ha perciò subito un rallentamento ed è prevedibile che possa ricevere un impulso significativo nel momento in cui l'introduzione in rete di questi apparati sia effettuabile con un impatto molto ridotto sulla rete pubblica esistente.

In questa prospettiva, i livelli funzionale e prestazionale richiesti a questo tipo di apparati sono sicuramente più elevati rispetto a qualunque altro prodotto ATM [19]. Per questo motivo gli apparati disponibili sinora sul mercato sono da considerarsi di buon livello tecnico e tecnologico ma con carenze dal punto di vista della segnalazione, del controllo di traffico, dell'esercizio e manutenzione (*Operation Administration and Maintenance, OAM*), che se per gli altri settori citati potevano essere considerate di poco rilievo nel transitorio, in questo ambito diventano essenziali ai fini di un'offerta commerciale qualitativamente adeguata. La fig. 7 riporta la foto di un tipico sistema ATM per rete estesa dal punto di vista geografico, e più precisamente del nodo di rete Italtel UTXC, che costituisce uno degli elementi portanti della rete di Telecom Italia le cui caratteristiche di maggior rilievo saranno indicate nel seguito.



Figura 7 Sistema ATM per rete estesa dal punto di vista geografico (apparato Italtel UTXC).

6.1 Prodotti e Costruttori

In questo settore sono molto attivi anche i Costruttori europei, tradizionalmente operanti nei settori delle telecomunicazioni e legati al mondo degli operatori delle reti pubbliche.

Italtel UTXC è un sistema sviluppato nell'ottica di integrazione con la linea UT, in particolare dal punto di vista dell'esercizio, ed è conforme con le principali raccomandazioni ATM dell'ITU (International Telecommunication Union) [20]. Il prodotto risulta consolidato e stabile dal punto di vista impiantistico, può oggi gestire sino a sessantaquattro interfacce a 34 ed a 155 Mbit/s, anche se l'architettura di base è concepita per modularità di accessi ben più elevate.

A1000AX rappresenta il prodotto di punta in questo settore dell'*Alcatel*. Esso è stato sviluppato prima rispetto all'*UTXC*; approntato alla fine 1993, esso è risultato, per quanto a conoscenza, il primo permutatore ATM disponibile sul mercato. Presenta caratteristiche di base analoghe al prodotto Italtel, ma richiede evoluzioni di funzionalità che il Costruttore sta oggi eseguendo.

Applicazioni sono state sviluppate anche da Ericsson con il prodotto *EBS*, che ha consentito di effettuare esperienze nelle reti pubbliche.

Per quanto riguarda i Costruttori nord americani si può rilevare che, in questi ultimi tempi, solo *AT&T* ha mostrato attenzione a questo settore ed il suo apparato *Globeview* è già stato installato in alcuni Paesi europei.

Newbridge, Northern Telecom, Cascade hanno invece annunciato di voler offrire anch'essi prodotti

ATM per questo settore di applicazioni, ma hanno condizionato gli sviluppi ad una crescita più significativa del mercato ad essi relativo.

Da segnalare ancora la presenza di sistemi di industrie giapponesi, quali Fujitsu (diverse installazioni in USA), NEC e Hitachi: si tratta, nella maggior parte dei casi, di apparati resi disponibili molto presto (1992-93), in momenti in cui le normative non erano ancora consolidate; questi prodotti non sono stati ancora impiegati in Europa. Proposte tecnologicamente innovative sono quindi attese a breve da parte di questi Costruttori.

La Tab. 5 presenta il confronto tra alcuni dei principali prodotti presenti sul mercato.

6.2 Stato dell'arte presente ed evoluzioni future

Questo ambito dei prodotti ATM è senza dubbio quello in cui i livelli funzionali e di prestazione raggiungono il maggior grado di complessità, se non altro per la prospettiva di costituire reti in grado di trattare traffici di natura estremamente variegata: dati, video, voce, multimediali [21].

Gli sviluppi maggiori da effettuare su questi prodotti riguardano oggi il software, in quanto l'hardware ha ormai raggiunto livelli di consolidamento molto elevati ed ulteriori contributi possono riguardare essenzialmente affinamenti e ottimizzazioni funzionali. Lo sviluppo di software di segnalazione e di gestione assume un livello di importanza prioritario specialmente nell'ottica di introdurre servizi commutati "on-demand" in linea con le raccomandazioni definite in ITU-T e con le aspettative della Clientela in termini di qualità.

7. Router ATM

Il router è un dispositivo che permette l'instradamento dei dati nelle reti estese dal punto di vista geografico; esso è ormai consolidato sia dal punto di vista prestazionale sia delle funzioni ed occupa una posizione di rilievo tra gli apparati che costituiscono le reti locali. L'eterogeneità dei collegamenti possibili fra le LAN ha favorito, da un lato una certa varietà di possibili diverse interconnessioni, e dall'altro ha spinto a definire gli standard necessari all'interoperabilità che, grazie anche all'affermazione dei sistemi aperti, ha scoraggiato le soluzioni proprietarie troppo specializzate [22].

7.1 Prodotti e Costruttori

I Costruttori di router stanno cercando di rispondere in modo adeguato alle crescenti necessità del

Sistemi ATM per reti estese dal punto di vista geografico				
Requisiti	Apparato			
	Alcatel A1000 AX	ERICSSON EBS	Italtel UT-XC	AT&T NSG GlobeView 2000
Banda aggregata massima lorda	***	**	****	****
Numero e tipo di porte ATM	***	**	****	****
Controllo del traffico	**	**	***	***
Gestione	***	***	****	****
Segnalazione	* p	* p	* p	* p
Esercibilità	****	****	****	****
Scalabilità	***	***	****	****
Affidabilità	****	****	****	****

p: pianificato

Tabella 5

Confronto tra diversi sistemi ATM per reti estese dal punto di vista geografico (dati aggiornati a dicembre '95).

mercato dell'interconnessione tra reti; si assiste quindi ad una crescente disponibilità sia di apparati sia in termini di funzionalità offerte.

I dati riportati sulle riviste specializzate negli ultimi anni relativamente al mercato dei router hanno messo in luce un continuo sensibile progresso nelle vendite. Il maggior Produttore a livello mondiale è CISCO Systems che fornisce già un apparato di routing, il CISCO 7000 (vedi fig. 8), corredato di un'interfaccia ATM. E' stata anche sviluppata una versio-

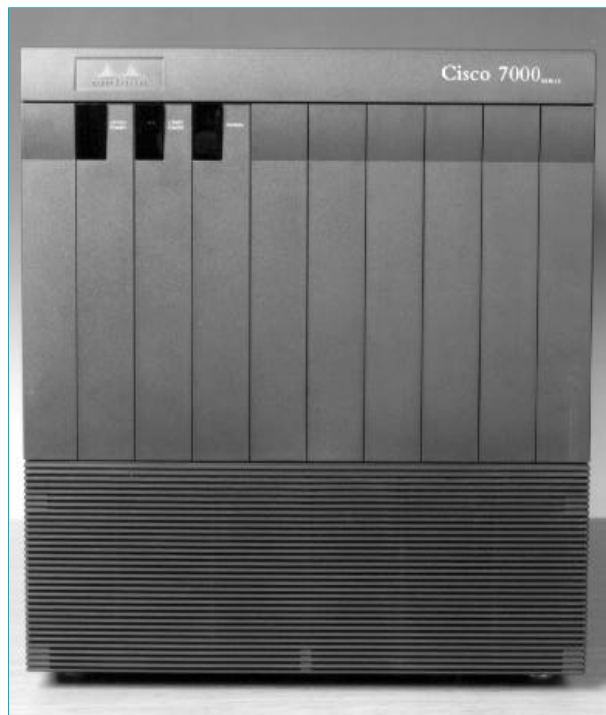


Figura 8

Router equipaggiato con interfacce ATM (apparato CISCO 7000).

ne più economica dell'apparato, il modello *CISCO 7010*, in grado di alloggiare un numero più limitato di schede di interfaccia.

Altro Fornitore di rilevanza mondiale è Bay Networks, anch'esso fortemente impegnato nello sviluppo di apparati di accesso a reti in tecnica ATM. *Bay Networks* dispone di una famiglia di router con interfaccia ATM integrata (BLN, BCN).

Altri Produttori quali *Digital, Retix, HP, IBM, 3Com* e *NSC* sono attivamente impegnati nello sviluppo e nella promozione di prodotti ATM, ed hanno tutti annunciato a brevissimo termine la disponibilità di schede ATM sui propri apparati, anche se per il momento l'accesso alla rete ATM è possibile solo tramite l'unità di servizio per dati DSU.

La Tab. 6 presenta il confronto tra alcuni dei principali prodotti presenti sul mercato.

7.2 Stato dell'arte presente ed evoluzioni future

Tutte le Aziende produttrici di apparati di rete, anche quelle che operavano in nicchie specializzate alla distribuzione di dispositivi e di schede di costo competitivo, hanno ormai deciso di estendere l'attività nella direzione della distribuzione di dispositivi che consentono l'interconnessione con la rete e, grazie anche alla tendenza di crescita positiva dell'interconnessione tra reti, l'offerta di prodotti di questa categoria è oggi molto ricca e vivace. Inoltre nel mercato, è chiaramente avvertibile lo sforzo compiuto da molti Costruttori per offrire apparati più economici in grado di gestire anche interfacce ATM.

8. Conclusioni

La panoramica, in questo articolo, degli apparati ATM, oggi già in rete o già annunciati come disponibili nei prossimi mesi, ha inteso fornire un quadro necessariamente sintetico sullo stato attuale di un settore di mercato le cui opportunità di crescita sia quantitativa sia qualitativa appaiono rilevanti. Infatti è emblematico il dato fornito da Dataquest alla fine dello scorso anno, che valuta il solo mercato dei commutatori per "rete corporate" in 323 milioni di dollari con un tasso di crescita rispetto al 1994 del 145 per cento [16].

Questo dato di mercato si riferisce al contesto di apparati ATM ora più consolidato, ma, come è emerso dai paragrafi precedenti, fervono gli sviluppi in tutti i settori potenzialmente interessati: dal mondo delle LAN, ove approcci oggi innovativi come *Fast Ethernet* e *LAN switching* rappresentano soluzioni di transito verso la commutazione ATM, al più largo ambito di una rete estesa dal punto di vista geografico, ove prime affermazioni dell'ATM con reti sovrapposte rappresentano il preludio ad una più ampia introduzione della nuova tecnica nelle reti dei principali Gestori internazionali. Senza considerare lo sviluppo di schede per l'interconnessione verso ATM in ambiti collaterali quali ad esempio stazioni di lavoro, personal computer e router.

La situazione descritta è suscettibile di forti mutamenti in quanto essi sono solo i primi passi dell'ATM sul mercato; alcuni aspetti, tuttavia, emergono già in modo rilevante e caratterizzeranno con alta probabilità anche le fasi successive: si sta anzitutto, verificando un cambiamento negli attori coinvolti in questo settore: ai tradizionali Costruttori dell'ambito telecomunicazioni si stanno affiancando nuovi entranti, generalmente provenienti dal mondo *Information Technology*, le cui peculiarità - ad esempio flessibilità e tempestività rispetto alle richieste del mercato, pianificazione in genere a breve termine focalizzata sulle richieste dei Clienti - influenzeranno le evoluzioni dei prossimi anni.

In secondo luogo, per la prima volta una tecnica per il trasferimento della informazione vuole costituire una base comune dal terminale dell'utente agli autocommutatori di rete; le iniziative riportate in questo articolo mostrano come venga perseguito oggi nei casi reali questo obiettivo, che produrrà sensibili giovamenti dal punto di vista dell'interoperabilità e della gestione delle reti.

La situazione oggi presente, riportata in questo articolo, mette in luce che è stata com-

Router			
Requisiti	Apparato		
	Cisco 7000	Bay Networks Backbone Link Node	Digital DECNIS 600
Interfacce LAN	*****	*****	*****
Interfaccia ATM	*****	***	*
Protocolli Routing	*****	*****	*****
Protocolli Rete	*****	*****	*****
Vel. Instradamento	*****	*****	**
Controllo del profilo di traffico	*****	*****	*
Gestione	*****	*****	*****
Esercibilità	*****	*****	nv
Scalabilità	***	*****	nv
Affidabilità	*****	*****	nv

nv: non valutato

Tabella 6

Confronto tra diversi apparati di routing (dati aggiornati a dicembre 95).

pletata la fase di impostazione dell'ATM e, sia pur con tutte le gradualità che sono richieste da innovazioni che riguardano l'intera rete di telecomunicazioni, pubbliche e private, è stata avviata la prima fase di offerta al mercato. Va da ultimo segnalato che i dati presentati nelle tabelle, rilevati nel corso dello scorso anno, per l'elevata dinamicità del mercato, potrebbero essere già in parte superati. Essi sono stati presentati non per fornire una classifica di valori, che peraltro esula dagli obiettivi del *Notiziario*, ma per cercare di portare a conoscenza dei lettori lo stato dell'arte di queste tecnologie fotografate in un certo istante. Trattandosi di materia in forte sviluppo l'evoluzione del settore potrà quindi essere presentata con cadenza periodica ai lettori.

Abbreviazioni

AAC-1	=	ATM Access Concentrator
API	=	Application Programming Interface
ATML	=	Advanced Telecommunications Modules Ltd.
BAYSIS	=	BAY networks Switching Inter-networking System
BLN	=	Backbone Link Node
BCN	=	Backbone Concentrator Node
CSU	=	Channel Service Unit
DSU	=	Data Service Unit
EISA	=	Extended Industry Standard Architecture
enVISN	=	enterprise Virtual Intelligent Switched Networks
FDDI	=	Fibre Distributed Data Interface
FVC	=	First Virtual Corporation
GDC	=	General Data Comm
HPSN	=	High-Performance Scalable Networking
IP	=	Internet Protocol
ISA	=	Industry Standard Architecture
ITU	=	International Telecommunication Union
LAN	=	Local Area Network
MPEG-2	=	Moving Picture Experts Group - 2
NSC	=	Network Systems Corporation
OAM	=	Operation Administration and Maintenance
OC-1	=	Optical Container
PC	=	Personal Computer
PCI	=	Protocol Control Information
S-bus	=	SUN bus
SDH	=	Synchronous Digital Hierarchy
SMDS	=	Switched Multimegabit Data Service
SNMP	=	Simple Network Management Protocol
UB	=	Ungermann Bass Networks
UNI	=	User Network Interface
UTP	=	Unshielded Twisted Pair
WS	=	Workstation

Bibliografia

- [1] Garetti, E.; Pietroiusti, R.: *ATM-Aspetti generali*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Vol. 5, n. 1, maggio 1996, pp. 11-25.
- [2] Garetti, E.; Pietroiusti, R.: *ATM-Aspetti di rete*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Vol. 5, n. 1, maggio 1996, pp. 26-36.
- [3] Giorelli, S.: *La tecnica ATM nelle Reti ad Alta Velocità*. CSELT, Torino, 1991, pp. 25-49.
- [4] McDysan, D.E.; Spohn, D.L.: *ATM Theory and Application*. McGraw-Hill, New York, 1994, pp. 3-64.
- [5] Stevenson, I.; Howard-Healy M.: *ATM: Market Strategies*. OVUM Ltd, Londra, 1993, pp. 65-94.
- [6] McQuillan, J.: *ATM Year Three, Strategic Perspectives on ATM*. Technology Transfer Institute, Business Communication Review & McQuillan Consulting, San Josè, California, 1995.
- [7] Newman, P.: *ATM Local Area Networks*. «IEEE Communications Magazine», Vol. 32, n. 3, 1994, pp. 86-98.
- [8] Heinanen, J.: *Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5*. IETF RFC 1483, 1993.
- [9] Laubach, M.: *Classic IP and ARP over ATM*. IETF RFC 1577, 1994.
- [10] *LAN Emulation over ATM: Version 2 - LUNI Specification*. ATM Forum/95-1081 - ATM Forum Technical Committee, 1995.
- [11] *ATM product Directory - A Comprehensive Guide to ATM Products, Manufacturers and Technology*. OmniCom PPI Ltd, 1995.
- [12] *The ATM Report, Asynchronous Transfer Mode - Products, Services, Markets & Application*. Broadband Publishing Corporation, Vol. 2, n.12, 1994, Vol. 3, n. 2, 3, 4, 1995.
- [13] Fioretto, G.: *La standardizzazione nelle telecomunicazioni*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Vol. 5, n. 1, maggio 1996, pp. 63-74.
- [14] *Raccomandazioni ITU-T G.703*. Blue Book, Ginevra, 1989.
- [15] *SMDS Data Exchange Interface Protocol*. SMDS Interest Group Technical Specification SIG-TS-001/1991, 1991.

- [16] Coons, J.: *Digital WANs North America MARKET Analysis - 1995 Preliminary Market Shares for Wide Area Network Equipment*. Dataquest, Gartner Group, 1996.
- [17] *Raccomandazioni ITU-T Recommendations Q.2931, Q.2761*. ITU-T Study Group 11, Ginevra, 1995.
- [18] *ATM User-Network Interface (UNI) Specification Version 3.1*. ATM Forum Technical Committee, 1994.
- [19] Händel, R.; Huber, M.N.; Schröder, S.: *Integrated Broadband Networks*. Addison-Wesley Publishing Company, Bath, 1995.
- [20] *Raccomandazioni ITU-T I.113, I.121, I.150, I.311, I.321, I.356, I.361, I.362, I.363, I.371, I.413, I.432, I.610*. Ginevra, 1992.
- [21] Fischer, W.; Wallmeier, E.; Worster T.; Davis S.P.; Hayter A.: *Data Communications using ATM - Architectures, Protocols, and Resource Management*. «IEEE Communications Magazine», Vol. 32, n. 8, 1994, pp. 24-33.
- [22] Callon, R.; Halpern, J.: *Next Generation Networks, Technical Tutorial on ATM and Inter-networking*. Business Communication Review & McQuillan Consulting, Washington, DC, 1995.



Claudio Brosco, laureato in Ingegneria Elettronica all'Università di Roma nel 1976, dopo alcune esperienze accademiche, nel 1978 è entrato in Telecom Italia come docente presso la Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli. Nel 1984 è passato ad operare presso la Divisione Clienti Business della Direzione Generale, per ricoprire vari incarichi nello sviluppo di architetture e soluzioni di rete per la Clientela Business.

Dal 1991 è responsabile dello sviluppo del Network della Divisione Business di Telecom Italia e, in particolare, ha recentemente curato lo sviluppo in Italia delle reti ATMosfera e InterBusiness, sorte nel 1995 -prime in Europa- per consentire rispettivamente l'offerta commerciale dei servizi ATM e di quelli IP.



Flavio Ferrero, nato nel 1958, si è laureato in Ingegneria Elettronica al Politecnico di Torino nel 1982. Dopo un periodo iniziale in Olteco (Olivetti Telecomunicazioni), ha cominciato ad operare in CSELT, il centro studi del gruppo STET, nel 1983. Sino al 1990 si è occupato prevalentemente di progetti avanzati di ricerca riguardanti reti locali e metropolitane integrate ad alta velocità, svolgendo il ruolo di responsabile dell'integrazione dei sistemi nel contesto di progetti di collaborazione europei,

quali LION (Local Integrated Optical Network), MAX (Metropolitan Area Communication System) e IACIS (Intelligent Area Communication and Information System). Dal 1991 la sua attività ha riguardato il supporto a Telecom Italia per la sperimentazione, lo sviluppo e l'evoluzione sistemistica di reti a larga banda per Utenza affari, occupandosi in particolare dei progetti rete metropolitana QPSX di Torino, rete CLAN, rete Pilota ATM nazionale ed europea, SIRIUS e rete ATMosfera. E' ora responsabile dell'unità di ricerca Integrazione Reti e Servizi presso la Direzione Commutazione e Servizi di Rete di CSELT. E' autore di numerose pubblicazioni su sperimentazioni di reti ad alta velocità, in particolare ATM, e sulla caratterizzazione di apparati e servizi di networking.



Silvio Valeau, diplomato come P.I. con specializzazione Elettrotecnica nel 1969, ha iniziato ad operare presso la FATME S.p.A. (attuale Ericsson Tlc.) nel 1972. Sino al 1976 si è occupato prevalentemente di normative di collaudo relative a centrali telefoniche di tecnica analogica. Dal 1976 la sua attività ha riguardato le centrali di tecnica SPC, in particolare AKE ed AXE con ruoli di crescente responsabilità nell'ambito dell'approntamento, prova e gestione di rilasci software relativi alle

centrali AXE installate in Italia. Nel 1986 è passato ad operare in SIP (oggi Telecom Italia) nel ruolo di responsabile del collaudo di accettazione delle centrali AXE. Dal 1994 si occupa anche di tecnica ATM, partecipando alle esperienze Pilota ATM nazionale ed europeo, il progetto SIRIUS. E' oggi responsabile del gruppo di collaudo relativo ai sistemi AXE, GTD ed ATM.

Componenti fotonici

Evoluzione della componentistica fotonica

VITTORIO GHERGIA
FLAVIO MELINDO

I componenti fotonici si sono sviluppati in parallelo all'evoluzione delle fibre ottiche, fornendo dispositivi sempre più perfezionati e rispondendo alle richieste sistemiche, che si sono spostate nel tempo da 0,9 ad 1,3 e poi a 1,55 micron di lunghezza d'onda e che hanno aumentato la frequenza di cifra fino a raggiungere e superare i 2,5 Gbit/s, cominciando anche ad impiegare multipiazioni in lunghezze d'onda. L'articolo, dopo una prima parte introduttiva sull'evoluzione dei componenti fotonici in relazione alle richieste dei sistemi in fibra ottica, è diviso in quattro parti, che passano in rassegna i principali dispositivi fotonici attivi: i laser (Fabry-Perot, a singola frequenza, per sistemi WDM, per trasmissioni ad alta velocità, per rete di accesso e per interconnessioni ottiche); i rivelatori a fotodiodi PIN e APD; gli amplificatori ottici in fibra ed a semiconduttore; i più recenti dispositivi ottici integrati realizzati con diverse tecnologie costruttive. Sono indicati i principi di funzionamento di questi dispositivi ed è presentata una mappa del loro stato dell'arte attuale. In conclusione dell'articolo sono formulate alcune ipotesi sull'evoluzione futura dei sistemi di comunicazione ottica e dei relativi componenti fotonici necessari.

1. Introduzione

Le fibre ottiche, realizzate per la prima volta nel 1966 da Kao e Hockman presso i laboratori della STL in Inghilterra, hanno messo in luce le loro possibilità applicative nel 1970 quando Kapron e Keitz alla Corning Glass in USA sono riusciti a produrre fibre con attenuazioni inferiori a 20 dB/km.

Quasi contemporaneamente si è avuta l'invenzione del LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) a gas avvenuta negli anni sessanta; invenzione che ha poi avuto, nel 1970, una interessante evoluzione con la prima dimostrazione di laser a semiconduttori, operanti a temperatura ambiente, ottenuta da Hayashi e Panish presso i laboratori Bell.

A questo punto erano disponibili gli ingredienti base per avviare una ricerca, che si è svolta a ritmi quasi frenetici, mirata ad utilizzare sistemicamente le caratteristiche molto promettenti delle fibre ottiche: bassa attenuazione, larga banda (e quindi grande capacità di trasmissione), ridotto ingombro, alta affidabilità e completa immunità ai disturbi elettromagnetici.

L'evoluzione dei sistemi di comunicazione in fibra ha comportato, oltre al perfezionamento delle caratteristiche di fibre ottiche e laser, anche lo sviluppo di una nuova famiglia di componenti ottici ed optoelettronici, attivi e passivi, attualmente detti genericamente dispositivi fotonici, che comprendono, insieme agli emettitori, numerosi altri componenti quali i rive-

latori, gli amplificatori, i diramatori, i giunti, i connettori. Questo sviluppo ha permesso negli anni ottanta di avviare l'impiego sistematico di sistemi di comunicazione punto-punto nella rete di giunzione a media ed a lunga distanza, in sostituzione dei precedenti sistemi che operavano su cavi elettrici in rame coassiali.

Nei paragrafi che seguono saranno esaminati i dispositivi fotonici attivi e, in particolare, gli emettitori laser, i rivelatori a fotodiodo, gli amplificatori ottici ed i dispositivi ottici integrati.

2. Evoluzione dei componenti fotonici per soddisfare le richieste dei sistemi in fibra ottica

Le prime fibre [1] impiegate nelle comunicazioni ottiche erano di tipo multimodale, operanti alla lunghezza d'onda di $0,8 \div 0,9 \mu\text{m}$, prima finestra di attenuazione minima delle fibre. Successivamente sono diventate di uso comune le fibre monomodali, operanti a 1,3 ed a $1,55 \mu\text{m}$ (seconda e terza finestra), usate per soddisfare a requisiti di minore attenuazione e di minore dispersione cromatica⁽¹⁾.

Nella loro evoluzione le fibre sono state seguite, passo passo, dai dispositivi fotonici, che si sono adattati alle nuove richieste applicative in tempi brevi e con notevoli risultati tecnologici. In particolare la realizzazione di emettitori a semiconduttori composti, prima LED (*Light Emitting Diode*) e poi LASER, mise a disposizione delle telecomunicazioni sorgenti di ra-

diazione luminosa di piccole dimensioni e di alta affidabilità, non ottenibili con i precedenti emettitori laser a gas od allo stato solido. La disponibilità di questi dispositivi innovativi permise di sciogliere gli ultimi dubbi sulle reali possibilità applicative dei sistemi in fibra ottica. Utilizzando LED e LASER realizzati con eterostrutture in *Arseniuro di Gallio ed Alluminio* ($GaAlAs^{(2)}/GaAs^{(3)}$) furono sviluppati e messi in esercizio, agli inizi degli anni '80, i primi sistemi in fibra punto-punto; essi operavano a $0,8 \div 0,9 \mu m$, con passi di ripetizione di alcune decine di chilometri, già di almeno un ordine di grandezza più lunghi dei passi di ripetizione dei sistemi in cavo coassiale in rame, e con frequenze di cifra di 2 - 8 - 34 Mbit/s.

Successivamente, per seguire i successi tecnologici delle fibre ottiche nella seconda e terza finestra di lunghezze d'onda e quindi per poter operare ad 1,3 e ad $1,55 \mu m$, è stato necessario realizzare i diodi laser con il sistema quaternario di semiconduttori composti a base di *Fosforo di Indio e di Arseniuro di Gallio* ($InGaAsP^{(4)}/InP^{(5)}$). Nel contempo le strutture dei laser sono diventate sempre più sofisticate, passando dalle emissioni multimodali dei laser a cavità Fabry-Perot a quelle monomodali dei laser a reazione distribuita *DFB* (*Distributed Feed-Back*), consentendo così passi di ripetizione fino ad alcune centinaia di chilometri, con frequenze di cifra sempre crescenti: 140 Mbit/s; 622 Mbit/s; 2,5 Gbit/s ed oltre.

Anche l'evoluzione dei rivelatori ha contribuito al successo dei sistemi in fibra ottica tramite i fotodiodi di tipo "PIN" ed "a valanga", prima in Silicio per le comunicazioni in prima finestra, poi in Germanio (molto rumorosi) e infine con semiconduttori composti per i sistemi in seconda e terza finestra. L'alta sensibilità dei fotorivelatori a diodo ha permesso di allungare i passi di ripetizione delle comunicazioni ottiche, consentendo la rivelazione di segnali estremamente deboli, dell'ordine di $-30 \div -40$ dBm.

Fin dai primi successi ottenuti nelle comunicazioni punto-punto fu possibile rilevare che la capacità trasmissiva dei sistemi in fibra ottica poteva essere

aumentata non solo operando a frequenze di cifra sempre più elevate, ma anche lanciando contemporaneamente nella fibra radiazioni a più lunghezze d'onda, in sistemi detti a moltiplicazione di lunghezza d'onda *WDM* (*Wavelength Division Multiplexing*). Questa rilevazione ha comportato lo studio e la realizzazione di altri dispositivi fotonici: in particolare i moltiplicatori ed i demoltiplicatori di lunghezze d'onda, ottenuti inizialmente con sistemi di microottica o a fibre fuse, e più recentemente in ottica integrata di tipo planare con guide in vetro o in semiconduttori composti.

La possibilità di aumentare la densità delle lunghezze d'onda trasmesse contemporaneamente, spaziandole di pochi nanometri, in sistemi detti *HDWDM* (*High Density WDM*), o anche di accrescere la sensibilità e la selettività della ricezione di molte lunghezze d'onda con sistemi di rivelazione del tipo ad eterodina (sistemi che nel settore delle comunicazioni ottiche sono detti coerenti), è stata determinata dalla disponibilità di sorgenti più perfezionate e complesse, con spettri di emissione molto stretti e sintonizzabili in lunghezza d'onda, aventi cioè la caratteristica di poter variare la lunghezza d'onda operativa con un comando di tipo elettrico.

Un salto tecnologico di notevole rilievo si è infine verificato alla fine degli anni ottanta con lo sviluppo degli amplificatori ottici a fibra attiva drogata. Le caratteristiche di alto guadagno e basso rumore su una estesa banda di frequenza, la linearità e la compatibilità fisica con le fibre ottiche, hanno ben presto reso evidente il salto di prestazioni ottenibile nei collegamenti ottici mediante l'impiego di questi dispositivi. L'inserimento degli amplificatori ottici permette infatti di annullare virtualmente le perdite in trasmissione e, in combinazione con tecniche di compensazione della dispersione cromatica (con l'impiego di spezzoni di fibre particolari o con la trasmissione a solitoni), può portare alla realizzazione di una rete priva non solo di perdite, ma anche di limitazioni di banda, offrendo ai progettisti una libertà ed una flessibilità di progetto senza precedenti.

Oltre al miglioramento delle prestazioni, altri benefici introdotti dagli amplificatori ottici riguardano l'affidabilità, il costo, l'apporto di nuove funzionalità e la possibilità di realizzare nuove architetture della rete trasmissiva. In questa direzione una delle caratteristiche più interessanti di una linea equipaggiata con amplificatori ottici è data dalla "trasparenza", ossia dall'insensibilità del collegamento alla frequenza di cifra, al formato di modulazione (analogico o numerico, di intensità, di frequenza, di fase ...) ed al tipo di moltiplicazione (tempo, frequenza, polarizzazione ...), che lo rende aperto a successivi aggiornamenti sistemistici con un semplice cambio di apparati terminali. Queste caratteristiche consentono quindi la coesistenza di diverse tecniche trasmissive, con una graduale introduzione dell'innovazione e con evidenti benefici per l'efficace sfruttamento degli investimenti.

Tutte queste nuove realizzazioni hanno via via aperto altri "orizzonti" applicativi, più complessi di quello sperimentato inizialmente nei sistemi punto-punto, permettendo di immaginare nuove architetture non solo nella rete di giunzione ed a lunga distanza, ma anche in quella di distribuzione, nella quale le

(1) La dispersione cromatica provoca la deformazione degli impulsi trasmessi nelle fibre ottiche a causa dell'emissione non completamente monocromatica delle sorgenti laser e della propagazione che avviene nelle fibre con differenti tempi di ritardo per le diverse lunghezze d'onda. Due sono gli effetti che provocano la dispersione cromatica nelle fibre. Essendo di segno opposto, tali effetti si annullano reciprocamente (dispersione cromatica zero) per la lunghezza d'onda di $1,3 \mu m$ nelle fibre monomodali normali, e di $1,5 \mu m$ nelle fibre "dispersion shifted" ([1] - pag. 185 e 252).

(2) Semiconduttore composto ternario con intervallo di energia, compreso fra la banda di valenza e la banda di conduzione, adatto ad emettere, nelle strutture laser, una radiazione di $0,8 - 0,9 \mu m$.

(3) Semiconduttore composto binario, impiegato nella realizzazione di strutture laser emettenti a $0,8 - 0,9 \mu m$.

(4) Semiconduttore composto quaternario con intervallo di energia, compreso fra la banda di valenza e la banda di conduzione, adatto ad emettere a seconda della sua composizione, nelle strutture laser, una radiazione a $1,3$ oppure a $1,55 \mu m$.

(5) Semiconduttore composto binario, impiegato nella realizzazione di strutture di dispositivi fotonici operanti a lunghezze d'onda di $1,3 - 1,55 \mu m$.

fibre ottiche consentono di portare agli utenti nuovi servizi a larga banda. Le molteplici possibilità applicative dei sistemi in fibra ottica, messe a disposizione dai sensibili sviluppi tecnologici degli anni settanta ed ottanta, hanno dovuto progressivamente inserirsi in un contesto di rete di comunicazione preesistente di tipo elettrico, che pure negli stessi anni ha avuto sviluppi di grande valenza tecnica.

L'ottimizzazione di questo processo è in effetti una delle problematiche di rilievo che i Gestori delle reti pubbliche di telecomunicazione stanno oggi affrontando in uno scenario che comprende molte variabili non solo di tipo tecnico, ma anche e soprattutto di tipo economico, complicate da una nuova e difficilmente prevedibile situazione di competizione e di evoluzione nell'offerta di servizi.

Nella seconda metà degli anni ottanta sono iniziate anche le sperimentazioni di dispositivi fotonici integrati a semiconduttore, che, sull'esempio dei circuiti integrati elettronici, potessero raggruppare in un unico "chip" più funzioni. Gli obiettivi iniziali, di sviluppare un'ottica integrata equivalente o sostitutiva dell'elettronica integrata, sono state però presto ridimensionate alla luce di problemi e di difficoltà insite nelle integrazioni ottiche, quali, ad esempio, le dimensioni dei singoli dispositivi, le potenze dissipate, l'interconnessione dei segnali ottici; ma la possibilità di ridurre i costi globali dei sistemi e di aumentare la loro affidabilità hanno fatto proseguire questa ricerca, che, anche se ha prodotto dispositivi significativi, non ha ancora permesso di raggiungere livelli di integrazione e di produzione paragonabili a quelli dei circuiti elettronici.

Le nuove applicazioni nel settore delle reti di accesso a larga banda, con la possibile richiesta di grossi volumi di dispositivi e la spinta a ridurre i costi delle soluzioni ottiche, potrebbero in un prossimo futuro rilanciare lo sviluppo di più complessi e più numerosi dispositivi optoelettronici e fotonici integrati. Anche se nessuno mette in dubbio oggi la complementarità dell'ottica e dell'elettronica nei sistemi di telecomunicazione, l'uso di sistemi di telecomunicazione soltanto ottici e l'optical computing (cioè l'impiego di calcolatori che funzionino elaborando segnali ottici) sembra essere ancora molto lontano nel tempo.

L *e sorgenti di luce*

3. Emettitori laser

Le sorgenti LASER impiegate nei trasmettitori per telecomunicazioni ottiche operano oggi a velocità di 155 622 e 2500 Mbit/s, fornendo potenze ottiche in fibra di frazioni di milliwatt per collegamenti a breve distanza, fino ad alcuni milliwatt per tratte lunghe parecchie decine di chilometri. Sono in fase di sperimentazione sistemi a velocità superiori (10-40 Gbit/s).

Nei sistemi convenzionali la lunghezza d'onda e-

messa dal laser è scelta in base alle caratteristiche della fibra. A 850 nm l'attenuazione della fibra è elevata, ma i laser sono economici, potenti e poco sensibili alla temperatura. A 1550 nm si ha la minima attenuazione delle fibre, ma la dispersione cromatica, se non si impiegano fibre a dispersione spostata (dispersion shifted), distorce il segnale, riducendo i margini di rivelazione. Intorno a 1300 nm, la dispersione si azzerava, ma l'attenuazione è più elevata di quella a 1550 nm.

In generale i laser emettenti a 1300 nm ed a 1550 nm sono intrinsecamente meno efficienti e più sensibili alle temperature dei laser operanti a 850 nm; ma presentano migliori caratteristiche di affidabilità [2].



Primo laser a semiconduttori InGaAs/PlnP, emettente a 1,3 μ m, realizzato in Italia presso i laboratori CSELT nel 1983.

La dispersione cromatica della fibra costituisce il fattore limitante per trasmissioni ad alta frequenza di cifra. In tal caso, se si vogliono avere passi di rigenerazione del segnale superiori al centinaio di chilometri, è richiesto l'impiego di sorgenti con uno spettro di emissione particolarmente contenuto, detto monomodale o anche, in modo non completamente proprio, a singola frequenza.

La frequenza ottica⁽⁶⁾ della portante può essere considerata come elemento di flessibilità per meglio sfruttare la banda della fibra (10 THz nell'intorno di 1550 nm): infatti, impiegando dispositivi con emissione a singola frequenza ottica, solo una piccola frazione della banda è utilizzata ed è possibile trasmettere sulla stessa fibra e senza interferenze molti canali a differenti lunghezze d'onda. Questa possibilità è usata nei sistemi a moltiplicazione di lunghezza d'onda WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) [3].

3.1 Laser a cavità Fabry-Perot

Il principio di funzionamento di un diodo laser a semiconduttore è illustrato in fig. 1. Il chip che costituisce il laser è tipicamente spesso meno di 100 μ m, lungo 200 e largo 300-400 μ m ed è formato da diversi strati di materiali composti da elementi dei gruppi III e V, cresciuti epitassialmente su un substrato e rico-

⁽⁶⁾ Chi opera con i sistemi in fibra ottica usa di solito il termine "lunghezza d'onda" invece del termine frequenza ottica.

piandone la struttura monocristallina.

Lo strato attivo, sede del guadagno ottico e dell'emissione radiativa del laser, è costituito di Al-GaAs, per operare a 850 nm, oppure di InGaAsP (come nel caso della fig. 1), per operare a 1300 ed a 1550 nm. Lo strato attivo in un dispositivo a doppia eterostruttura è posizionato nella regione di giunzione P-N del diodo laser ed è compreso tra strati adiacenti di semiconduttori aventi un salto energetico (energy gap) più elevato per creare barriere di potenziale che confinino efficacemente gli elettroni e le lacune. La diversa composizione dei materiali degli strati adiacenti determina anche una riduzione dell'indice di rifrazione rispetto alla regione attiva, facendo di essa una guida ottica in cui viene confinato il campo ottico.

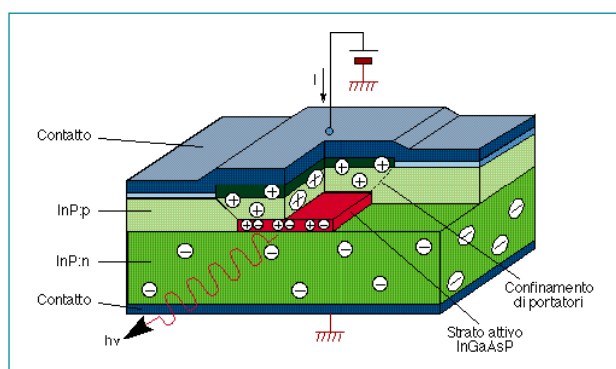


Figura 1 Schema e principio di funzionamento di un laser a semiconduttore a doppia eterostruttura a cavità Fabry-Perot

L'iniezione di una corrente elettrica dell'ordine di una decina di milliamper produce nello strato attivo una densità di portatori liberi che si ricombinano emettendo fotoni. Questa radiazione luminosa stimola ulteriori ricombinazioni dei portatori, che generano altri fotoni, coerenti con i precedenti. E se la densità dei portatori iniettati è sufficientemente alta (circa 10^{18} cm⁻³), il guadagno ottico prodotto dall'emissione stimolata supera le perdite del materiale e si ha l'emissione di una radiazione molto intensa e coerente (effetto laser).

Nei laser a struttura Fabry-Perot il 30% circa della radiazione luminosa generata nello strato attivo è retroriflesso dalle faccette terminali dei dispositivi, che fanno da specchi, e ripercorre più volte la guida ottica, provocando nel suo cammino le ricombinazioni stimulate dei portatori, che emettono ulteriori fotoni coerenti. Dato che sono possibili diversi modi di propagazione longitudinali, che risuonano nella cavità limitata dagli specchi, e che non esiste nei laser Fabry-Perot nessun altro meccanismo di selezione di questi modi longitudinali risonanti, la sorgente genera diversi picchi di emissione equispaziati in un intervallo di pochi nanometri. I laser Fabry-Perot presentano così una emissione spettrale piuttosto allargata, costituita dall'involuppo dei modi longitudinali risonanti (emissione multimodale).

Nei primi laser Fabry-Perot lo strato attivo, aven-

te uno spessore di 0,1 - 0,2 μ m ed una larghezza di circa 1 μ m, era costituito da un unico materiale massivo (InGaAsP). Nell'ultimo decennio le caratteristiche operative dei laser a semiconduttore sono notevolmente migliorate realizzando strati attivi con uno o con più pozzi quantici MQW (*Multi Quantum Well*). Un pozzo quantico è costituito da uno strato estremamente sottile di semiconduttore a basso salto energetico, racchiuso fra strati barriera con salto energetico maggiore. Se i pozzi quantici sono sufficientemente sottili (1 - 10 nm), essi ammettono al loro interno soltanto livelli energetici quantizzati in cui possono essere presenti i portatori. Questa quantizzazione determina un comportamento peculiare del guadagno ottico (g) del materiale a MQW rispetto alla densità di portatori iniettati (N) e del relativo guadagno differenziale (dg/dN). Il guadagno ottico ed il guadagno differenziale aumentano infatti significativamente, con un notevole miglioramento delle caratteristiche del dispositivo. Modulando il profilo di composizione dei MQW e degli strati adiacenti si ottimizzano il confinamento dei portatori ed il profilo di indice di rifrazione, ottenendo una riduzione della corrente di soglia del laser anche di un ordine di grandezza rispetto ai laser tradizionali in materiale attivo massivo.

Ancora più interessante risulta osservare che mentre nei laser massivi gli strati epitassiali devono avere la medesima periodicità cristallina, parametro reticolare del substrato (in quanto un disaccordo reticolare superiore a 100 parti per milione dà luogo a difetti che riducono l'efficienza e la vita operativa del dispositivo), nei laser a MQW questa condizione può essere violata entro certi limiti (tensionamento) senza problemi, ottenendo ulteriori miglioramenti di caratteristiche e maggiore flessibilità di progetto. È possibile dimostrare che il tensionamento degli strati attivi MQW porta ad una sostanziale riduzione della corrente di soglia, oltre che ad una significativa diminuzione della dipendenza della soglia stessa rispetto alla temperatura operativa. Con laser a MQW tensionati, si ottengono quindi in seconda e terza finestra emissioni fino a 300 - 400 mW a 20 °C e funzionamenti stabili senza controllo termico fino a 100° C.

Inoltre i laser a MQW tensionati presentano un ulteriore aumento del guadagno differenziale dg/dN che porta ad un generale miglioramento delle caratteristiche dinamiche dei dispositivi emettitori quali, ad esempio, l'incremento della banda di modulazione e la riduzione della riga spettrale.

È interessante infine notare che gli strati tensionati permettono nuove combinazioni di materiali su substrati ben noti quali, per esempio, la lega SiGe su substrati di Si, oppure InGaAs su GaAs. Con la variazione indipendente fra loro del salto energetico (che definisce la lunghezza d'onda di emissione del laser) e del parametro reticolare, è possibile ottenere lunghezze d'onda altrimenti impossibili quali, ad esempio, quelle ottenibili dai laser emettenti a 980 nm in InGaAs/GaAs, che sono oggi utilizzati per il pompaggio ottico degli amplificatori in fibra.

Le tecniche di crescita epitassiali adatte alla fabbricazione di laser con strutture MQW, in cui è ri-

chiesto un controllo a livello di monostrato atomico, sono: la Molecular Beam Epitaxy, la Chemical Beam Epitaxy e la Metallo-Organic Chemical Vapour Deposition.

3.2 Laser a singola frequenza

Come si è già accennato, lo spettro di emissione ottica di un diodo laser ha una notevole importanza nelle trasmissioni ad elevata velocità e distanza (a causa della dispersione cromatica della fibra) e nelle applicazioni WDM. Nel corso degli anni ottanta, sono state perciò sviluppate sorgenti emettenti una "singola frequenza" ottica (in pratica un singolo modo longitudinale), quali il laser *DFB* (*Distributed Feed-Back - laser a retroazione distribuita*) e il laser *DBR* (*Distributed Bragg Reflector - laser a riflettore di Bragg distribuito*), mostrati schematicamente in fig. 2 e fig. 3. In questi dispositivi la retroazione ottica non è più concentrata sugli specchi (come nei laser Fabry-Perot) ma è realizzata da una corrugazione periodica distribuita lungo la cavità (reticolo), che retro-diffonde la radiazione luminosa nello strato attivo. Questo effetto è intrinsecamente selettivo rispetto alla lunghezza d'onda, in quanto prodotto dalla diffrazione del reticolo, e porta all'amplificazione di una sola riga spettrale, che predomina sulle altre di oltre 30 - 40 dB (soppressione dei modi di propagazione laterali rispetto al modo principale).

La lunghezza d'onda emessa da un laser "a singola frequenza" è determinata dalla periodicità della corrugazione del reticolo, che, per un'emissione in terza finestra, deve avere un passo di circa 250 nm ed essere fabbricato, date le sue piccole dimensioni, mediante tecniche di incisione olografiche, oppure a fascio di elettroni.

Lo spettro di emissione di un laser "a singola frequenza" comprende in effetti un certo intervallo di frequenze ottiche, descritto da una "curva lorentziana", la cui ampiezza a metà altezza (detta larghezza di riga della sorgente), in un laser di tipo massivo, ha un valore dell'ordine di 10 - 20 MHz. Questa larghezza di riga, da un punto di vista microscopico, è determinata

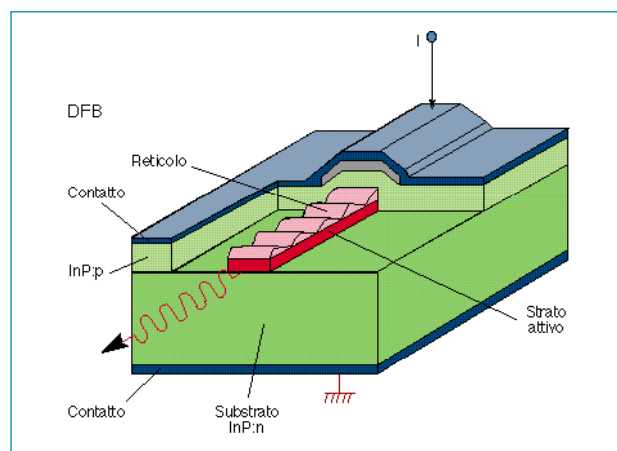


Figura 2 Struttura di un laser a singola frequenza del tipo a retroazione distribuita (DFB).

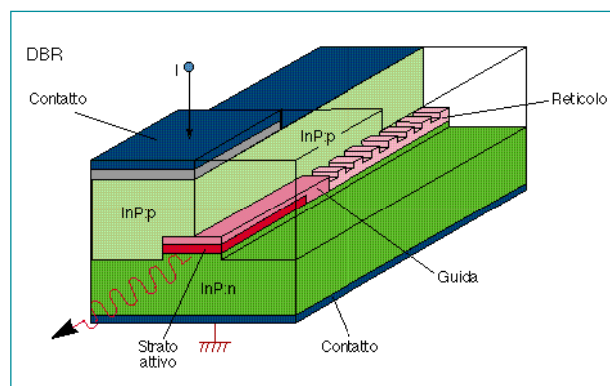


Figura 3 Struttura di un laser a singola frequenza del tipo a riflettore di Bragg distribuito (DBR).

da fluttuazioni locali dell'indice di rifrazione, dovute alla statistica di ricombinazione dei portatori ed all'amplificazione dell'emissione spontanea, scorrelata in frequenza e fase rispetto all'emissione stimolata.

Lo studio di sorgenti a ridotta larghezza di riga è stato spinto in anni recenti soprattutto dallo sviluppo dei sistemi ottici a rivelazione coerente che, con la rivelazione ad eterodina ottica, forniscono un'elevata selettività nei sistemi multi canale ed un incremento di sensibilità di circa 10-20 dB. Per i ricevitori coerenti le sorgenti laser devono possedere, a seconda del formato di modulazione, una larghezza di riga pari a 1/10 - 1/1000 del tasso di trasmissione.

Una drastica diminuzione della larghezza di riga spettrale nei laser DFB (fino al valore "record" di 3,6 kHz) è stata ottenuta soprattutto grazie all'adozione di strutture MWQ tensionate ad elevato guadagno differenziale [4].

3.3 Laser per i sistemi WDM

I sistemi a moltiplicazione di lunghezza d'onda WDM richiedono laser a singola frequenza con buona purezza spettrale, che risultino sintonizzabili, anche se in modo non continuo, su intervalli di lunghezza d'onda piuttosto ampi (15 - 20 nm). Se si utilizzano le strutture multi-elettrodo (tipicamente a due o a tre elettrodi) dei laser DFB e DBR indicati nelle fig. 2 e 3 è possibile, sbilanciando opportunamente le correnti di iniezione nelle diverse porzioni del dispositivo, variare localmente l'indice di rifrazione della struttura e quindi variare la lunghezza d'onda emessa dal laser [5]. Si possono ottenere intervalli di sintonizzabilità continui dell'ordine di 1 nm con i laser DFB [6] ed intervalli quasi continui di 6 - 7 nm con i laser DBR [7].

I sistemi WDM attuali richiedono però in molte applicazioni di superare il limite di 10 nm teoricamente consentito ai laser DBR multi-elettrodo convenzionali. Per la soluzione di questo problema sono state sviluppate strutture innovative di laser sintonizzabili, basate sull'impiego di geometrie più sofisticate dei reticoli di diffrazione. Le più interessanti sembrano essere quelle con reticoli di diffrazione "superperiodici".

Un esempio eccellente di laser sintonizzabile di questo tipo è il laser DBR con reticolo "campionato",

mostrato nella fig. 4 [8]. In questo dispositivo lo specchio frontale e quello posteriore del laser sono costituiti da due reticoli di diffrazione, i cui tratti della corrugazione vengono rimossi periodicamente, ottenendo per ciascuno specchio uno spettro di riflessione a pettine (fig. 4a). Poiché i super-periodi dei due specchi sono leggermente diversi, i due pettini (rispettivamente linea continua e linea tratteggiata di fig. 4b) non risultano perfettamente sovrapposti. E dato che la condizione di emissione laser si innesca solo all'unica lunghezza d'onda per cui i picchi di entrambi gli spettri di riflessione sono allineati, basterà modificare l'indice di rifrazione di uno dei due specchi (iniettando corrente) per allineare successivamente picchi diversi. Si ottiene così un ampio intervallo di sintonizzabilità (anche se discontinuo), di oltre 60 nm, mantenendo inoltre una potenza di emissione pressoché costante di 10 mW ed una soppressione dei modi laterali di 30 - 50 dB.

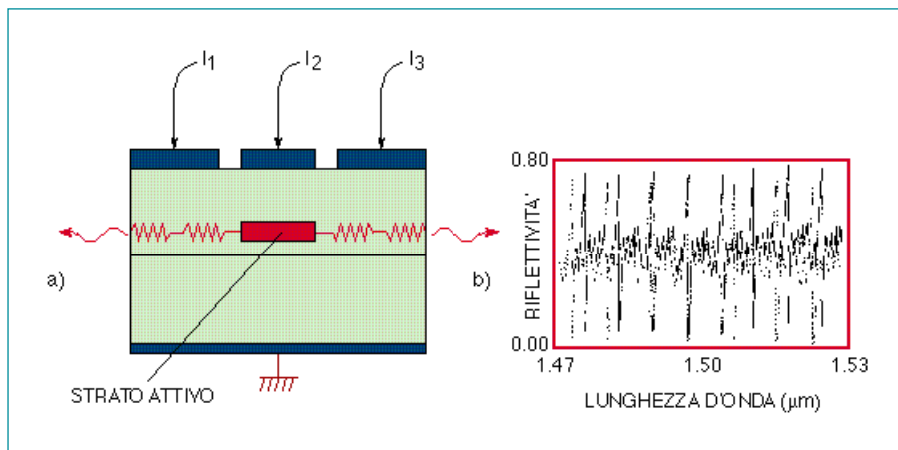


Figura 4 Sezione longitudinale di un laser DBR con reticolo campionato e suo principio di funzionamento.

Una struttura simile alla precedente è quella del dispositivo *SSG* (*Super Structure Grating*) DBR, basato sul principio di modificare la riflettività dei due reticoli che fungono da specchi sintonizzabili. In questo caso il passo del reticolo non è costante, ma varia linearmente tra due valori limite e tale variazione si ripete con periodicità diversa nello specchio frontale rispetto a quello posteriore. Anche in questo caso la sintonizzazione si ottiene iniettando corrente in modo differenziato nei due reticoli; sono state così ottenute variazioni di lunghezza d'onda discontinue di oltre 80 nm e variazioni quasi continue di oltre 30 nm.

È stata dimostrata anche la fattibilità realizzativa di laser DFB a tre elettrodi con strutture a superreticolo, con cui sono stati ottenuti intervalli di sintonizzabilità di oltre 80 nm, ed è stata mantenuta una larghezza di riga spettrale abbastanza stretta (2,8 - 21 MHz nell'intervallo di sintonizzabilità).

La complessità realizzativa sia dei laser DBR a reticolo campionato, sia dei laser DFB o DBR a superreticolo (che richiedono geometrie dei reticoli a passo variabile ed estremamente piccole) può essere affrontata soltanto con l'utilizzo di tecniche di litografia e-

lettronica con scrittura diretta.

In alternativa ai laser sintonizzabili su ampi intervalli di lunghezza d'onda è possibile utilizzare, nei sistemi WDM, schiere di laser DFB o DBR, con emissioni scalate di alcuni nanometri o frazioni di nanometro. Anche in questo caso per la realizzazione tecnologica della schiera di dispositivi, integrata su un unico substrato, è comunque necessario utilizzare la tecnica di litografia a fascio di elettroni dei reticoli dei diversi elementi della schiera (che sono differenti l'uno dall'altro per quanto riguarda il passo di ripetizione).

3.4 Laser per trasmissione ad alta velocità

I limiti che un diodo laser pone al suo impiego in condizioni di modulazione diretta ad elevata velocità sono sia intrinseci, in quanto derivano dalla risposta ottica del materiale attivo a rapide variazioni di densità dei portatori, sia dipendenti da fattori esterni,

cioè dovuti alla capacità parassita ed al confinamento elettrico ed ottico ai lati della striscia attiva. La struttura di un laser per trasmissioni ad alta velocità deve comprendere strati adatti a ridurre le capacità distribuite (come ad esempio strati di InP semi-isolante cresciuti ai lati della striscia attiva) e deve possedere un basso valore di resistenza serie.

Nello strato attivo sono sempre più spesso utilizzati MQW tensionati che, aumentando fino a cinque volte il guadagno differenziale, permettono di estendere la banda di modulazione fino ad oltre 20 GHz.

L'impiego di laser con struttura MQW può ridurre anche di 3-4 volte l'effetto di allargamento spettrale del segnale (*chirp*⁽⁷⁾), che si verifica nella modulazione diretta di laser ad alti bit-rate. Questo allargamento spettrale, che provoca una deformazione degli impulsi trasmessi ed è ovviamente molto penalizzante per la lunghezza delle tratte trasmissive, è dovuto alle ampie transizioni nelle densità dei portatori all'interno della struttura del diodo laser, causate dalla modulazione di corrente a grande dinamica del segnale, richiesta nelle trasmissioni ad elevato prodotto velocità-distanza.

L'uso di un dispositivo esterno, che moduli l'emissione continua del laser, diventa necessario per limitare il "chirp", quando si voglia operare a frequenze di

⁽⁷⁾ Con il termine "chirp" si intende l'allargamento dello spettro del segnale (e quindi la deformazione degli impulsi trasmessi), che diventa evidente nella modulazione diretta dei laser a semiconduttore ad alti bit-rate (> 2 - 5 Gbit/s), a causa dell'interazione della densità dei portatori del diodo laser, sia con l'intensità della potenza ottica, sia con la frequenza ottica emessa ([24] - pag. 119).

CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI DIVERSI TIPI DI LASER PER TRASMETTITORI A 1,3 - 1,55 μm

La presente tabella riporta, sotto forma di valori tipici (da considerarsi però molto dipendenti dal tipo di package adottato) le caratteristiche principali dei laser impiegati nei sistemi di telecomunicazione in fibra ottica.

Caratteristiche	Laser Fabry/Perot		Laser DFB		Laser Sintonizzabili		
	Bulk	MQW	Bulk	MQW	DFB	DBR	DBR super (1)
Potenza ottica in fibra [mW]	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 5	2 - 3	2 - 3	2 - 3
Corrente di soglia [mA]	5 - 10	< 1	15	< 10	-	-	-
Range di sintonizzaz. [nm]	-	-	-	-	~ 1	5 - 10	60 - 100
Max temperat. operat. [°C] (2)	~80	> 100	60 - 80	> 80	-	-	-
Banda di freq. [GHz] (2)	10	25	10	25			
Larghez. spettro di emiss. $\Delta\lambda$ [MHz]	250 000	250 000	10	< 1	< 10	< 10	< 10
Affidabilità (3) [MTBF in ore]	10^6	10^6	5×10^5	5×10^5	-	-	-

(1) Laser sintonizzabili DBR con reticoli superperiodici

(2) I massimi valori operativi sono fortemente dipendenti dal tipo di package adottato

(3) Affidabilità dei laser in chip, considerati in funzionamento a 25°C e valori nominali dell'emissione di potenza ottica

Laser Fabry-Perot con emissione multimodale a spettro relativamente largo (involuppo di diversi modi di emissione, pari a circa 2 nm) sono oggi utilizzati essenzialmente nelle applicazioni a basso costo: reti di accesso; reti LAN; interconnessioni ottiche.

Laser DFB con emissione a singolo modo sono impiegati normalmente nelle reti di giunzione e di trasporto a lunga distanza, con possibilità di operare fino ad alti bit-rate (2,5 - 10 Gbit/s).

Nei laser Fabry-Perot ed in quelli DFB possono essere impiegate strutture delle guide attive sia di tipo "bulk" sia di tipo "MQW". Le prestazioni migliori si ottengono oggi con le strutture MQW, che consentono di avere laser con correnti di soglia più basse, con minore dipendenza dalle temperature di funzionamento e (particolare interessante soprattutto per i laser DFB) minore larghezza dello spettro di emissione.

Nei sistemi a multiplazione di lunghezza d'onda (WDM) possono

essere impiegate schiere di laser DFB con emissioni spaziate di alcuni nanometri o frazioni di nanometri (sistemi HDWDM), per i quali è estremamente importante sia l'insensibilità alle variazioni di temperatura, che la larghezza dello spettro di emissione.

In molte applicazioni WDM è interessante, sia per problemi di aggiustamento delle lunghezze d'onda, sia per problemi di esercizio e manutenzione che comportano la sostituzione degli emettitori laser, poter disporre di sorgenti sintonizzabili in lunghezza d'onda. I laser DBR in questo caso sono quelli che consentono il più ampio intervallo di sintonizzabilità; in particolare i laser DBR nella versione a reticoli super-periodici permettono di ottenere sintonizzabilità in lunghezze d'onda su un arco di diverse decine di nanometri.

La tabella fornisce anche alcuni dati di affidabilità riguardanti i chip dei laser Fabry-Perot e DFB, indicando un valore di MTBF (Mean Time Between Failure) dell'ordine rispettivamente di 10^6 e 5×10^5 ore. I chip

dei laser DFB sono di per sé robusti come i chip dei laser Fabry-Perot; ma nel fornire un dato di affidabilità più conservativo si è tenuto presente che nella funzionalità operativa sistemistica di tali laser vengono richieste variazioni contenute di parametri più critici, come ad esempio la larghezza di spettro di emissione.

Passare dalla affidabilità dei chip dei laser a quella dei moduli in package dei trasmettitori laser non è facile senza prendere in considerazione i singoli tipi di package e la loro particolare realizzazione qualitativa. Si può dire però in generale che i moduli trasmettitori laser di qualità professionale impiegati nelle telecomunicazioni, operanti a 1,3 - 1,55 μm e cioè a base di InP, presentano valori di MTBF superiori a 10^5 ore. Inferiore è invece solitamente l'affidabilità dei dispositivi a base di GaAs, fatti per operare alle lunghezze d'onda più corte di 0,8 - 0,9 μm . Per i laser DBR sintonizzabili non sono disponibili dati di affidabilità, ma si possono estrapolare per essi valori simili a quelli dei laser DFB.

cifra molto alte (maggiori di 10 Gbit/s) [9]. Per la modulazione esterna del laser sono utilizzati oggi sia dispositivi in niobato di litio, sia dispositivi a semiconduttori composti. I modulatori in niobato di litio, che sono per ora i più usati per le loro basse tensioni di accoppiamento con le fibre ottiche, richiedono tensioni di pilotaggio non trascurabili (4 - 5 V), poco compatibili con le altissime velocità.

I modulatori elettro-ottici a semiconduttore con strutture MQW consentono elevate frequenze di modulazione (oltre i 20 Gbit/s), hanno "chirp" molto bas-

si e richiedono tensioni di pilotaggio inferiori (2 V). Essi presentano tuttavia perdite di accoppiamento ottico fra il modulatore e il laser in molti casi inaccettabili (superiori a 10 dB).

L'integrazione monolitica di un modulatore elettro-ottico con un laser a singola frequenza DFB, non ancora diventata di impiego commerciale per i problemi tecnologici in via di soluzione, sembra senz'altro, in prospettiva futura, la soluzione più conveniente per la modulazione dei laser impiegati nei sistemi di trasmissione ad alta frequenza di cifra.

Nel frattempo l'integrazione di dispositivi optoelettronici a semiconduttore diversi, pone ancora fondamentalmente il problema tecnologico di accoppiare in modo efficace, fra loro, guide ottiche eterogenee, in quanto progettate per funzioni diverse.

Nel caso del laser integrato con un modulatore, l'accoppiamento di testa delle guide (fig. 5a) è ottenuto affacciando direttamente le guide laser a quelle del modulatore; ma questo processo richiede sequenze complesse di incisioni e ricrescite epitassiali, che difficilmente garantiscono buone caratteristiche elettriche ed ottiche nella regione di interfaccia. Sembra più promettente l'accoppiamento fatto per adattamento modale (fig. 5b), che consiste nel realizzare una stratificazione dei materiali costituenti le guide ottiche nella regione laser e modulatore, tale da favorire la transizione del campo ottico da una guida all'altra, adattandone reciprocamente la distribuzione spaziale per minimizzare le perdite di accoppiamento.

Nella struttura riportata nella fig. 5b la guida-modulatore è continua lungo tutta la struttura ed è costituita da otto pozzi quantici di materiale quaternario InGaAsP, tensionato in modo compressivo. La guida-laser è invece limitata longitudinalmente e comprende solo quattro pozzi di spessore opportuno, con la stessa composizione precedente. Un dispositivo di questo tipo, in cui la sezione laser è lunga 300 μm , e con la sezione modulatore lunga 250 μm , è stato sperimentato fino a 20 Gbit/s [10].

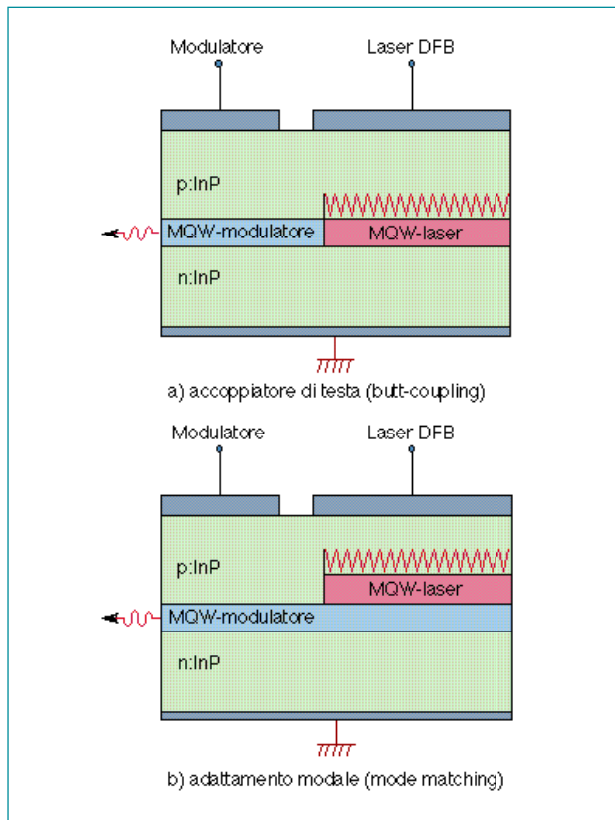


Figura 5 Sezione longitudinale di laser DFB integrati con un modulatore.

3.5 Laser per la rete di accesso

Per il futuro sviluppo della rete di accesso ottica a larga banda è importante disporre di laser a basso costo, in modo da ridurre i costi complessivi delle connessioni ottiche per utente e renderle competitive con le soluzioni elettriche.

Il costo di un trasmettitore laser dipende soprattutto dal montaggio del "chip" del laser nel modulo contenitore (package). Il costo del "package" (pari a circa 80 - 90 % del costo di produzione di un laser) è somma del costo dei particolari micro-ottici, dei controlli termici e della necessità di utilizzare, date le tolleranze sub-micrometriche richieste, una tecnica di allineamento attivo con la fibra ottica, che si ottiene alimentando il laser e allineando di fronte ad esso la fibra, per massimizzare la potenza ottica trasmessa dall'accoppiamento.

Una prima riduzione di costi del "package" è ottenibile con soluzioni semplificate, che impiegano, per esempio, laser a MQW poco sensibili alla temperatura, e che permettono così l'eliminazione dei controlli termici. Più complessi sono gli artifici tecnologici richiesti per passare da un allineamento di tipo attivo ad uno di tipo passivo, che non richieda l'accensione del laser ed i successivi tentativi di allineamento. Per ottenere un allineamento passivo può essere utilizzato un supporto di silicio dove la fibra è inserita in un solco a V e su cui sono realizzati rilievi e solchi complementari a quelli del "chip" del laser per un reciproco incastro (fig. 6a). Più recentemente (fig. 6b) è stato impiegato sul silicio un riferimento costituito da un parallelepipedo di arresto in silicio spesso 15 μm [11]. In questo caso, poiché l'allineamento si realizza spingendo il "chip" contro questo riferimento, la geometria esterna del laser deve essere realizzata con elevata precisione rispetto alla posizione della striscia attiva, definendo la linea di separazione dei "chip" me-

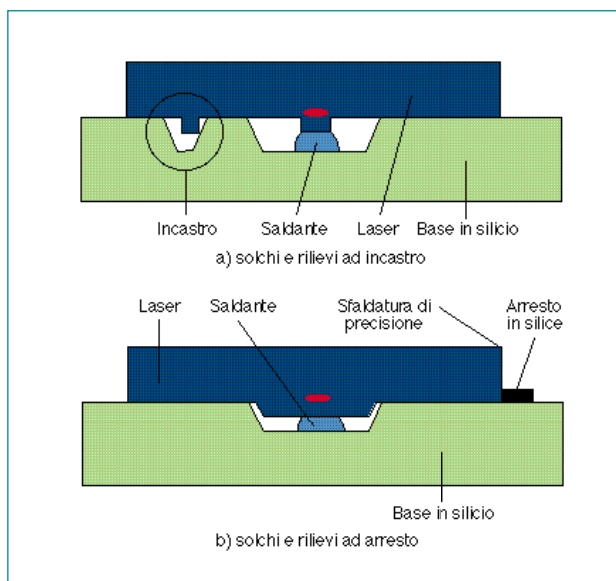


Figura 6 Rappresentazione di schemi di auto allineamento per laser con solchi e rilievi sul chip e sul silicio.

dianete un'incisione chimica.

In ogni caso, per avere un buon allineamento di tipo passivo occorre anche incrementare l'efficienza di accoppiamento fra laser e fibra ottica rilassando le tolleranze geometriche in gioco. Una soluzione possibile a questo problema consiste nell'adattare lo "spot" di emissione del laser alla forma ed alle dimensioni del nucleo della fibra, aumentandone le dimensioni mediante una guida attiva rastremata, come indicato in fig. 7. La rastremazione della guida attiva fa sì che la luce si accoppi ad una guida passiva sottostante e che quindi le dimensioni dello "spot" del laser dipendano unicamente dallo spessore e dall'indice di rifrazione di quest'ultima guida, che può essere ottimizzata per l'accoppiamento, in modo indipendente dallo strato attivo. Si ottengono così significativi miglioramenti nella tolleranza di posizionamento laser-fibra e si realizzano accoppiamenti passivi con perdite di accoppiamento inferiori a 2 dB [12].

Utilizzando accorgimenti costruttivi del tipo sopra descritto, è possibile perseguire l'obiettivo di produrre in un prossimo futuro laser di buona qualità ad un costo inferiore alle 100 mila lire, pari a circa 1 - 2 ordini di grandezza in meno rispetto al costo di quelli utilizzati ora nelle telecomunicazioni.

3.6 Laser per interconnessioni ottiche

Per l'evoluzione dei nodi di commutazione è presumibile che in futuro dovranno essere assicurate capacità trasmissive molto elevate (10 - 200 Gbit/s); l'interconnessione tra apparati, schede e "chip", realizzata con mezzi elettrici, incontrerà perciò criticità non trascurabili riguardanti velocità, ritardi temporali, sensibilità ai disturbi elettromagnetici, ingombro e dissipazione di potenza.

L'utilizzo dei sistemi ottici in queste diverse categorie di interconnessioni potrà risolvere le criticità citate sfruttando collegamenti ottici sia in fibra, sia in guida, o nello spazio libero, adottando modalità di trasmissione seriale o parallela.

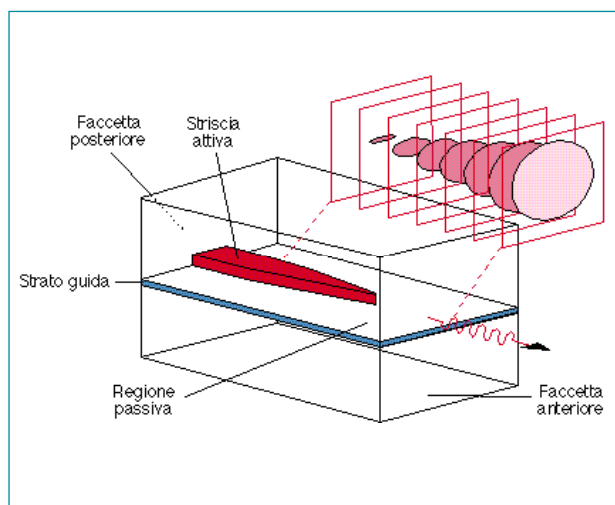


Figura 7 Schema di un laser a guida rastremata e del relativo campo di emissione.

Le sorgenti per i "data link" ottici seriali dovranno essenzialmente essere laser economici, robusti, con soglia possibilmente inferiore al milliampere per minimizzare (o eliminare) i circuiti di pilotaggio e la sensibilità alla temperatura. Questi laser dovranno quindi essere realizzati con guide attive a MQW tensionati e per l'applicazione specifica potranno operare alla lunghezza d'onda di 850 nm, che presenta semplificazioni tecnologiche e costi minori.

L'elemento chiave nella trasmissione parallela sarà la schiera di laser, costituita da 8 - 10 sorgenti Fabry-Perot a bassa soglia, realizzati in una medesima sbarretta di materiale, con spaziatura solitamente di 250 μm .

Per le interconnessioni nello spazio libero l'elemento chiave sarà invece un nuovo tipo di laser ad emissione verticale VCSEL⁽⁸⁾ (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) la cui microstruttura è indicata in fig. 8.

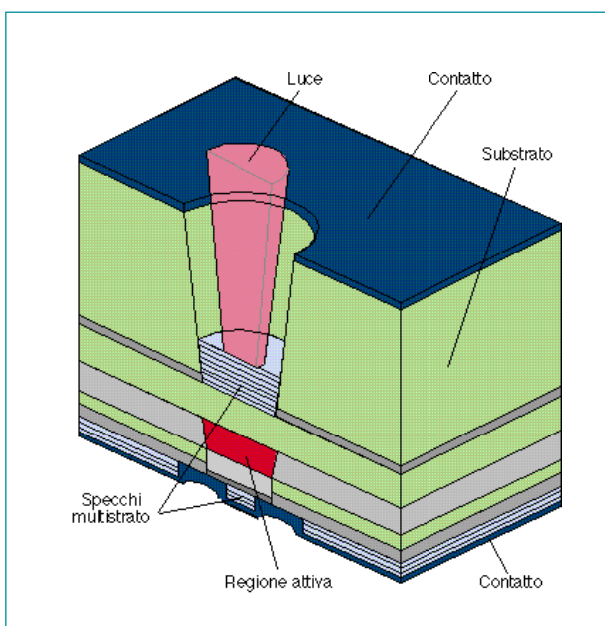


Figura 8 Laser a cavità verticale.

Attualmente i laser VCSEL sono sviluppati essenzialmente alla lunghezza d'onda di emissione di 850 nm, dato che per lunghezze d'onda superiori devono ancora essere superate difficoltà tecnologiche, per raggiungere un funzionamento in continua a temperatura ambiente. Al momento sono stati ottenuti laser VCSEL operanti a 850 nm con valori estremamente contenuti di corrente di soglia (dell'ordine di 100 μA), con una singola frequenza di emissione e con una elevata efficienza (90%). Nel caso di laser ad emissione verticale le tolleranze di accoppiamento fra laser e fibra sono ottime e potranno contribuire al contenimento dei costi applicativi di questi dispositivi [13].

⁽⁸⁾ Dispositivi laser ad emissione superficiale utilizzati nei sistemi di interconnessioni ottiche.

I ricevitori della luce

4. Fotorilevatori

Il componente fotonico principale dei ricevitori dei sistemi di comunicazione in fibra ottica è il fotorivelatore, che svolge la funzione di convertire il segnale ottico trasmesso tramite la fibra in un segnale elettrico a larga banda, che sarà successivamente amplificato.

I fotorivelatori impiegati nei sistemi in fibra ottica sono essenzialmente dei fotodiodi a giunzione di semiconduttori p-n. I fotodiodi si prestano infatti meglio, rispetto ad altri tipi di fotorivelatori (ad esempio ai fotoconduttori), a soddisfare le richieste sistemiche che impongono spesso nella rivelazione limiti molto severi di sensibilità ($-30 \div -50$ dBm), di rapporto segnale-rumore e di velocità (fino ad alcune decine di Gbit/s).

A seconda della lunghezza d'onda a cui operano i sistemi in fibra ottica, si possono impiegare fotodiodi di materiali diversi.

Nei primi sistemi diventati operativi alla fine degli anni settanta e negli attuali sistemi per brevi distanze (local area networks) o per l'interconnessione fra apparati vicini (data-link), ove sono usate lunghezze d'onda di $0,8 \div 0,9 \mu\text{m}$, hanno potuto essere impiegati fotodiodi in silicio. Questi dispositivi forniscono prestazioni molto buone, con un'alta affidabilità propria della tecnologia matura del silicio ed a costi contenuti.

Nella maggior parte delle applicazioni attuali però, per le quali è indispensabile operare a lunghezze d'onda di $1,3 - 1,55 \mu\text{m}$, non è possibile utilizzare il silicio come materiale fotorivelatore, dato il suo basso coefficiente di assorbimento a tali lunghezze d'onda (fig. 9);

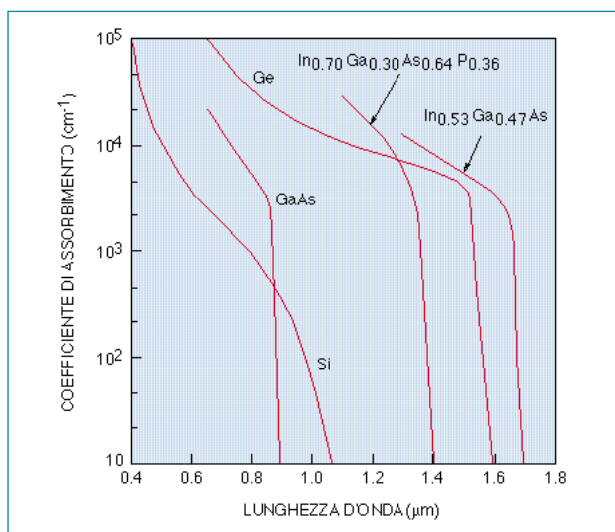


Figura 9 Coefficiente di assorbimento di alcuni materiali semiconduttori utilizzabili per la realizzazione di fotodiodi operanti a differenti lunghezze d'onda.

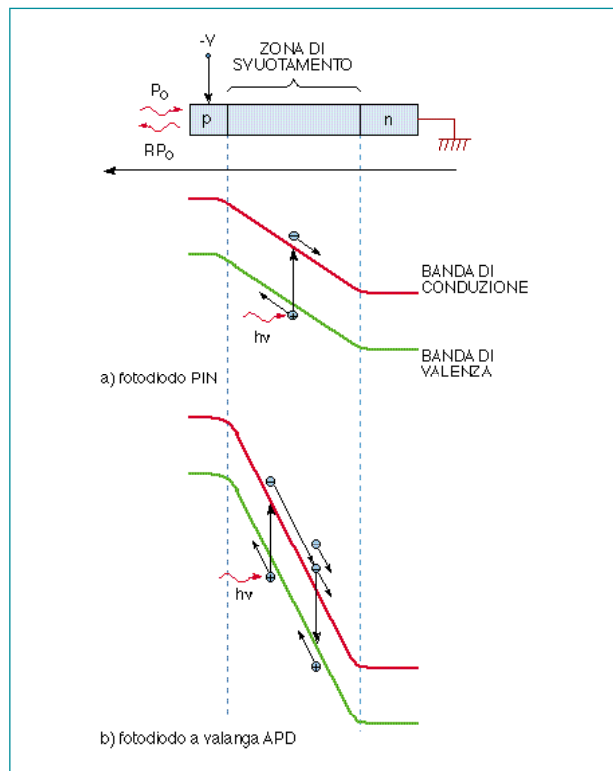


Figura 10 Principio di funzionamento dei fotodiodi PIN e APD.

è quindi necessario passare all'impiego di materiali alternativi. Gli attuali fotorivelatori sono realizzati in semiconduttori composti da materiali ottenuti da elementi dei gruppi III-V, con il sistema di materiali InGaAs/InP, simile a quello adoperato per la realizzazione dei laser operanti alle stesse lunghezze d'onda.

Per quanto riguarda la struttura dei dispositivi, i fotorivelatori impiegati nei sistemi in fibra ottica, sia che vengano realizzati in semiconduttori composti III-V, sia che vengano realizzati in silicio, sono di due tipi: i fotodiodi PIN ed i fotodiodi a valanga APD (Avalanche Photo-Diode).

Il principio di funzionamento di un fotodiodo PIN in silicio, costituito rispettivamente da due strati di silicio drogati P ed N separati da uno strato non drogato intenzionalmente, detto intrinseco I (che aumenta la larghezza della zona di svuotamento del diodo polarizzato inversamente), è indicato nella fig. 10a. La potenza ottica P_o , non riflessa, viene assorbita dal semiconduttore nella zona di svuotamento e ciò provoca la generazione di coppie di portatori (elettroni e lacune), che vengono raccolti ai due lati della giunzione.

Nella fig. 10b è indicato invece il principio di funzionamento di un fotodiodo a valanga APD in cui la polarizzazione inversa applicata al diodo crea, nella zona di svuotamento del diodo, un campo elettrico tale per cui i portatori generati dall'assorbimento di un fotone acquistano energia sufficiente a generare, per impatto, la ionizzazione di altre coppie di portatori. A causa dell'effetto moltiplicativo dei portatori si possono ottenere nei rivelatori APD sensibilità maggiori rispetto a quelle ottenibili con i rivelatori PIN; questa

caratteristica può risultare interessante per le applicazioni, a patto di limitare il rumore in eccesso provocato sia dalla ionizzazione dei portatori sia dalla presenza in genere della ionizzazione di entrambi i portatori. Negli APD in silicio l'elevato "break-down" del materiale ed un valore molto differente dei coefficienti di ionizzazione di elettroni e lacune, permette di realizzare ottimi fotodiodi a valanga con alti fattori di moltiplicazione e livelli di rumore in eccesso relativamente bassi.

Più complessa è risultata invece la realizzazione di rivelatori APD in grado di operare a 1,3 - 1,55 μm in cui si sono dovuti risolvere i problemi del basso valore di "break-down" (legato al più ridotto salto energetico dei materiali in grado di assorbire queste lunghezze d'onda maggiori) e del valore circa uguale dei coefficienti di ionizzazione di elettroni e lacune. La soluzione del problema "break-down" è stata trovata con l'impiego di eterostrutture a diverso salto energetico, mentre il problema di differenziare i coefficienti di ionizzazione dei portatori ha richiesto di individuare soluzioni più complesse, con il possibile utilizzo di strutture particolari a multi quantum well (MQW), a superreticolo. In ogni caso i rivelatori APD con semiconduttori costituiti da materiali composti da elementi dei gruppi III-V non permettono fattori di moltiplicazione simili a quelli degli APD in silicio ed il loro rumore in eccesso risulta maggiore.

Nella fig. 11 è indicata in sezione la struttura di un fotodiodo PIN planare in semiconduttori composti da elementi del gruppo III-V, in grado di operare a 1,3 - 1,55 μm . Su un substrato di InP drogato n sono accresciuti in sequenza, con la tecnica di epitassia da sorgenti metallo-organiche (MOCVD): uno strato di InP drogato n (buffer) ed uno strato di InGaAs intenzionalmente non drogato n- (strato di svuotamento del fotodiodo in cui avviene l'assorbimento dei fotoni e la generazione delle coppie di portatori). Con un drogaggio termico a base di zinco viene ottenuto l'anodo p del diodo, su cui viene depositato uno strato antiriflettente in Si_3N_4 per aumentare l'efficienza di rivelazione. La responsività⁽⁹⁾ di un PIN di questo tipo è di circa 0,7 A/W, con correnti di buio inferiori a 5 nA e frequenze di taglio di 2 - 3 GHz (mentre per dispositivi opportunamente progettati la frequenza di taglio può raggiungere i 20 - 40 GHz).

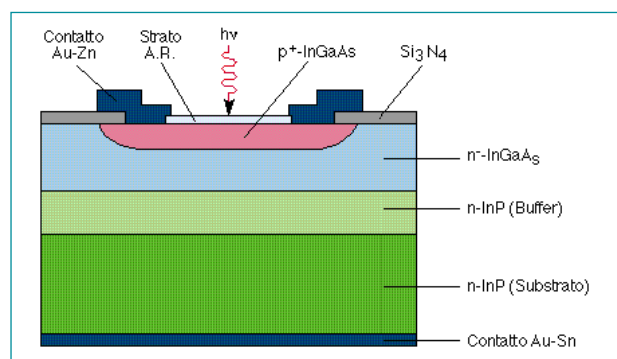


Figura 11 Struttura di un fotodiodo PIN in semiconduttori III-V.

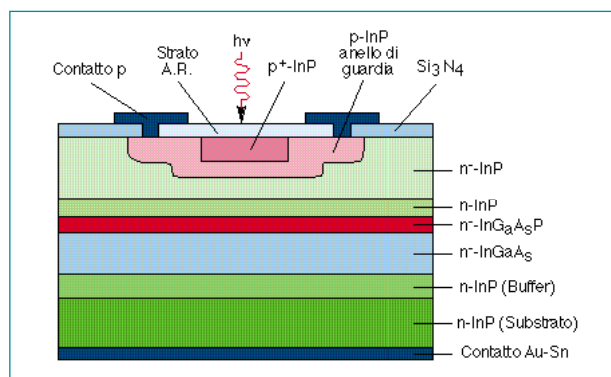


Figura 12 Struttura di un fotodiodo a valanga APD in semiconduttori composti III-V.

Più complessa è la struttura del fotodiodo a valanga indicata nella fig. 12. Anche in questo caso vengono accresciuti per MOCVD, su un substrato di InP, una sequenza di strati epitassiali: lo strato "buffer" di InP; lo strato di assorbimento dei fotoni in InGaAs; uno strato di quaternario InGaAsP per l'adattamento dei livelli delle bande di conduzione e di valenza della eterostruttura (che evita l'intrappolamento dei portatori ed aumenta la velocità di risposta del rivelatore); uno strato di InP drogato n, seguito da uno strato di InP intenzionalmente non drogato (n-) in cui il campo elettrico dovuto alla polarizzazione inversa del diodo raggiunge valori tali da permettere la ionizzazione dei portatori. Nella parte superiore dello strato di InP non drogato viene ottenuto l'anodo del diodo tramite drogaggio p con zinco. Il drogaggio in questo caso viene fatto con due operazioni successive per avere intorno all'anodo vero e proprio, molto drogato (p+), una zona a drogaggio inferiore, detta anello di guardia, che ha lo scopo di prevenire break-down localizzati causati dalla forte polarizzazione inversa del dispositivo. La responsività degli APD in semiconduttori III/V è dell'ordine di 0,9 A/W, con fattori di moltiplicazione di 10 - 20. Correnti di soglia di circa 20 nA e rumore di eccesso, legato al processo di moltiplicazione, limitano però, sia pure in parte, la maggiore sensibilità disponibile; mentre le frequenze di taglio difficilmente superano 1 - 2 GHz.

Normalmente nei ricevitori per i sistemi in fibra ottica a valle dei fotodiodi si impiegano uno o più amplificatori elettronici ed in molti casi il primo di tali amplificatori (preamplificatore) tende ad essere integrato in modo ibrido o monolitico con il fotodiodo, per ridurre il rumore ed aumentare la frequenza di taglio complessiva del ricevitore. In caso di integrazione, soprattutto se monolitica, i PIN presentano vantaggi rispetto agli APD, per la loro semplicità strutturale, le rese di produzione più alte e la possibilità di operare a frequenze di cifra superiori. Per questo motivo sono stati negli ultimi anni impiegati sempre più diffusamente

⁽⁹⁾ La responsività di un fotodiodo è il rapporto fra la corrente elettrica (espressa in Ampère) ottenibile dal dispositivo ricevitore e la potenza ottica (in Watt) che lo illumina.

CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI DIVERSI TIPI DI FOTODIODI PER RICEVITORI A 1,3-1,55 μm

Caratteristiche	PIN	APD
Responsivity [A/W]	0,8 - 0,9	10
Capacità parassita [pF]	0,1 - 0,2	0,3 - 0,5
Corrente di buio [nA]	<1	150
Fattore di moltiplicazione	1	10
Rumore in eccesso di moltiplicazione	-	5 - 7
Tensione inversa [V]	1 - 10	10 - 30
Banda di frequenza [GHz]	10 - 30	~ 2,5

Per rivelare segnali ottici a 1,3 - 1,55 μm bisogna utilizzare fotodiodi costituiti da materiali in grado di assorbire la radiazione incidente. Non possono essere usati fotodiodi in silicio, dato che questo materiale risulta trasparente per lunghezze d'onda maggiori di 1,1 μm . Ma sono impiegati essenzialmente fotodiodi in InGaAs/InP (quelli in Germanio risultano invece troppo rumorosi).

Due sono i principali tipi di fotodiodi utilizzati: i PIN e gli APD.

I PIN richiedono una tecnologia costruttiva più semplice, sono intrinsecamente più robusti, hanno tensioni inverse di funzionamento più basse, presentano correnti di buio residue minori; ma offrono una responsività (efficienza

di conversione del segnale ottico in segnale elettrico) più bassa.

Gli APD, utilizzano (per mezzo di forti campi elettrici nella zona di rivelazione del dispositivo) un effetto di moltiplicazione a valanga dei portatori elettrici generati dai fotoni. Sono componenti più critici da realizzare tecnologicamente, però hanno una responsività di circa un ordine di grandezza maggiore rispetto ai PIN.

Bisogna tenere presente che:

- la grande responsività degli APD è in parte limitata dalla presenza di un notevole rumore in eccesso dovuto all'effetto di moltiplicazione;
- i PIN, essendo più facilmente inte-

grabili con gli amplificatori elettronici sia in modo ibrido sia monolitico, data la loro maggiore semplicità e robustezza, permettono di realizzare ricevitori con sensibilità circa equivalenti, a quelle ottenibili con i fotodiodi APD.

Dal punto di vista della frequenza operativa i PIN sono costruttivamente più adatti (minori capacità parassite) degli APD ad operare ad alti bit-rate, ma bisogna considerare in questo campo il ruolo giocato dal package dei dispositivi, che è determinante per le loro prestazioni.

Al momento attuale vi è una forte tendenza ad impiegare nei ricevitori operanti a 1,3 - 1,5 μm essenzialmente i fotodiodi PIN.

dei PIN, mentre la ricerca nel settore degli APD volta a provare nuove strutture, per ottenere sensibilità e frequenze di cifra maggiori, ha per ora segnato il passo.

Fra gli studi volti a realizzare fotorivelatori APD di nuova concezione, i più significativi derivano probabilmente dall'invenzione fatta dal dr. F. Capasso, un noto ricercatore italiano che opera presso i laboratori dell'AT&T, il quale già nel 1982 aveva provato la possibilità di realizzare un rivelatore a valanga con una struttura particolare detta "staircase". Questa struttura prevede una realizzazione molto complessa dal punto di vista tecnologico della zona di moltiplicazione dei portatori, che è composta da molti strati semiconduttori a composizione variabile, accresciuti epitassialmente in modo tale da presentare un diagramma a bande con profilo a dente di sega (fig. 13).

Quando si applichi un campo elettrico, il profilo a dente di sega si modifica in

un profilo a scalini, fatto apposta per favorire la ionizzazione di un solo tipo di portatori (elettroni), in posizioni non casuali (alzate dei gradini), come indicato nella fig. 13.

Questo dispositivo era stato realizzato dal dott. Capasso e dai suoi collaboratori in AlGaAs/GaAs, sistema

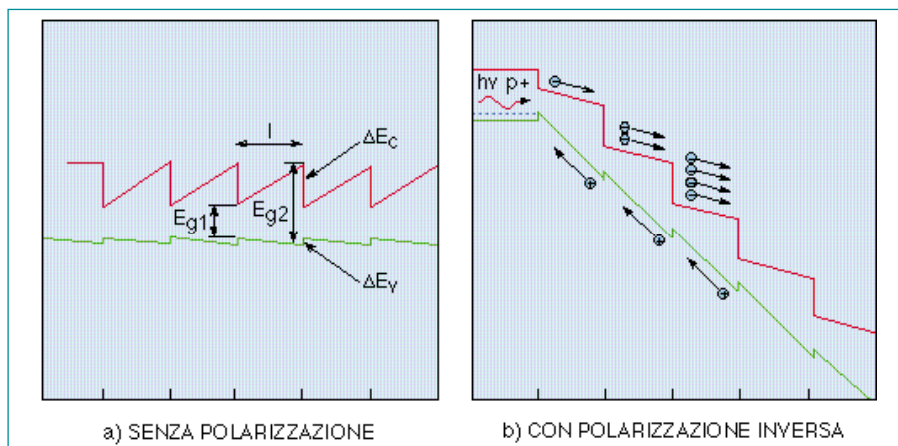


Figura 13

Diagramma a bande di un APD "staircase" studiato in AT&T (E_{g1} = Energy gap -salto energetico- del GaAs; E_{g2} = Energy gap -salto energetico- del AlGaAs).

di materiali con parametri reticolari quasi coincidenti, che semplificava la crescita di strati epitassiali a composizione variabile, ma che non permetteva la rivelazione di radiazioni infrarosse a lunghezze d'onda superiori ad 1 μm .

Solo recentemente, a più di 10 anni di distanza, alcuni ricercatori della NEC sono riusciti ad ottenere con materiali opportuni (InGaAlAs) una struttura "staircase" adatta a rivelare le radiazioni ad 1,3 - 1,55 μm . Con tale dispositivo, realizzato per ora solo a livello prototipico, sono stati ottenuti fattori di moltiplicazione fino ad $M = 100$, ma con correnti di buio piuttosto elevate, che già per fattori di moltiplicazione di $M = 10$ raggiungono valori di 230 nA. Il prodotto guadagno per larghezza di banda del dispositivo è pari a circa 100 GHz, il che permetterebbe al dispositivo di lavorare alla frequenza di taglio di 10 GHz in condizioni di guadagno $M = 10$ [14].

Gli amplificatori della luce

5. Amplificatori ottici

La possibilità di amplificare il segnale in una fibra ottica a livello ottico, senza dover effettuare una doppia conversione ottico-elettrico e viceversa, riveste un grande interesse nei sistemi trasmissivi in fibra ottica compensando l'attenuazione dei segnali [15]. L'amplificazione ottica consente infatti di aumentare le prestazioni dei sistemi, riducendo nel contempo il numero di ripetitori richiesti e la complessità della rete; diminuiscono così i costi di installazione e manutenzione ed aumenta l'affidabilità del collegamento [16].

Il funzionamento di un amplificatore ottico (vedi fig. 14) è relativamente semplice: in linea di principio si tratta di un laser senza retroazione ottica, che assorbe energia fornita dall'esterno tramite un sistema di pompaggio, che può essere ottico (negli amplificatori a fibra) oppure elettrico (negli amplificatori a semiconduttore). L'eccitazione prodotta dall'energia pompata fa sì che i portatori di carica del mezzo attivo (destinato a fornire il guadagno ottico) si trovino in condizioni instabili, pronti cioè a restituire una parte dell'energia di pompa al segnale transiente nel mezzo attivo, in processi di ricombinazione stimolata, indotti dal segnale stesso.

Gli amplificatori ottici più utilizzati oggi nei sistemi di comunicazione in fibra ottica

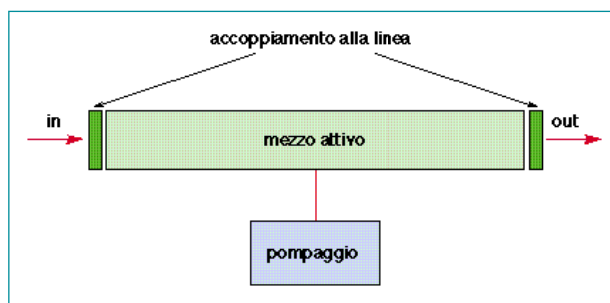
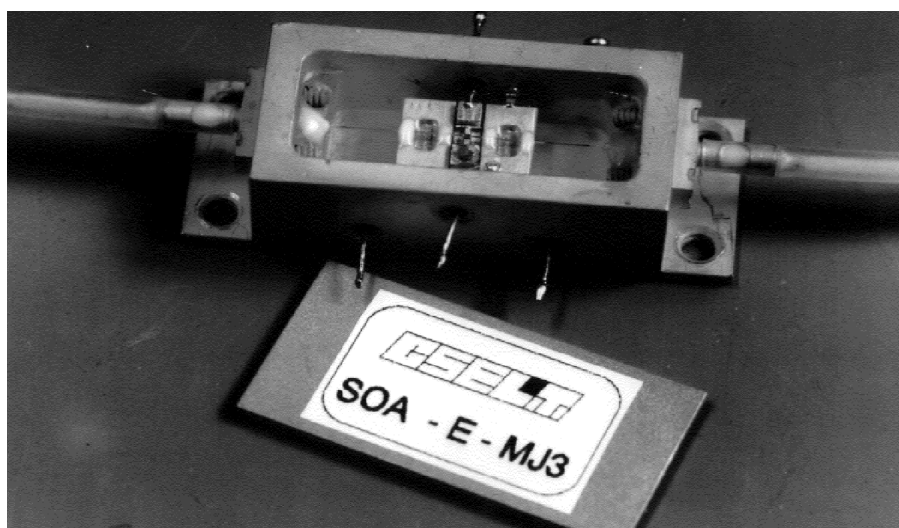


Figura 14 Schema generale di funzionamento di amplificatore ottico.

sono di due tipi: gli amplificatori a fibra attiva OFA (*Optical Fibre Amplifier*) e gli amplificatori a semiconduttore SOA (*Semiconductor Optical Amplifier*).

Il mezzo attivo solitamente usato negli OFA è costituito dalla matrice vetrosa di tipo siliceo della fibra ottica drogata con elementi di terre rare (erbio, praseodimio, tulio, neodimio, ...). Gli OFA presentano diversi vantaggi applicativi: sono immuni da non linearità, hanno basse perdite di accoppiamento con le fibre ottiche, e forniscono un guadagno pressoché indipendente dalla polarizzazione del segnale. I SOA per contro sono facilmente integrabili con altri dispositivi e circuiti fotonici, hanno bassi consumi, sono più compatti, hanno minor numero di componenti e sono quindi più economici. Nei SOA il mezzo attivo è costituito dagli stessi elementi semiconduttori costituiti da materiali ottenuti da elementi dei gruppi III-V, InGaAsP/InP, visti nei laser. Molto diverse sono le caratteristiche di risposta dinamica del guadagno negli OFA e nei SOA, che ne suggeriscono l'impiego in applicazioni complementari. La risposta lenta ($\tau \approx 0,1$ ms) degli OFA li rende adatti a compensare perdite ottiche di propagazione, diramazione e connessione e li privilegia nelle applicazioni multicanale ed analogiche; mentre la risposta molto rapida dei SOA ($\tau \approx 0,1$ ns) li fa preferire per le future elaborazioni del segnale nelle reti ottiche.



Amplificatore Ottico a Semiconduttori, operante a 1,3 μm , realizzato presso i laboratori CSELT.

5.1 Amplificatori Ottici in Fibra

Lo schema base di un *amplificatore ottico in fibra attiva (OFA)* è riportato in fig. 15: in essa la sorgente di pompa ottica è costituita da un laser a semiconduttore. L'OFA è generalmente dotato di due isolatori ottici per eliminare possibili disturbi in ingresso e in uscita. Il segnale è iniettato nella fibra attiva assieme alla radiazione di pompaggio tramite un accoppiatore di lunghezze d'onda WDM. Nel caso schematicizzato in figura è indicato un pompaggio di tipo "copropagante" (segnale e pompaggio ottico che si propagano nella stessa direzione), ma è possibile avere amplificatori ottici anche con pompaggio "contropropagante", o addirittura con entrambi i pompaggi presenti contemporaneamente (quando si voglia ottenere un elevato guadagno, tenendo sotto controllo il rumore). Nei casi in cui siano necessarie amplificazioni di potenza per comunicazioni a lunga distanza, possono essere impiegate strutture di amplificatori bistadio, in cui si hanno due fibre poste in cascata, pompate separatamente.

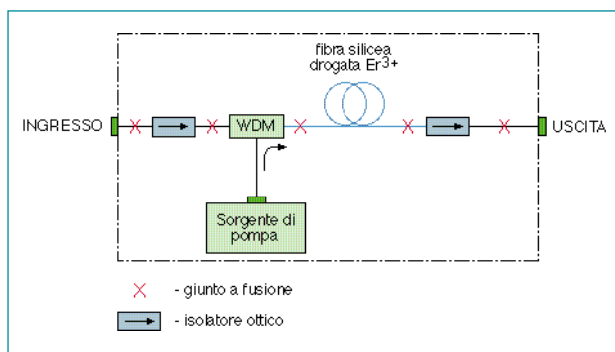


Figura 15 Schema di amplificatore ottico a 1550 nm in fibra attiva silicea drogata con erbio.

Nel mezzo attivo (la fibra silicea drogata con erbio) oltre all'emissione stimolata, che amplifica il segnale, si verifica un processo di emissione spontanea ASE (*Amplified Spontaneous Emission*), che produce un flusso incoerente, intorno alla lunghezza d'onda del segnale. L'ASE, sovrapponendosi al segnale coerente, rappresenta il rumore dell'amplificatore, e peggiora il rapporto segnale-rumore originariamente presente a monte dell'amplificatore [17].

Gli OFA, che sono oggi utilizzati essenzialmente in sistemi di comunicazione a media ed a lunga distanza, operano a lunghezze d'onda comprese fra 1530 - 1570 nm, con valori tipici di guadagno di 30 - 40 dB, per potenze di pompa di 50 - 100 mW. Il laser di pompa impiegato per questi amplificatori emette solitamente a 980 nm, anche se sono possibili pompaggi alla lunghezza d'onda maggiore di 1480 nm. Gli OFA operanti nella terza finestra, che sono chiamati anche *EDFA (Erbium Doped Optical Amplifier)* per il tipo di fibra attiva utilizzato, sono dispositivi ormai ben collaudati, affidabili e potenti. (Per una descrizione introduttiva degli EDFA vedi anche l'articolo di F. Fontana e G. Grasso "L'amplificatore a fibra ottica drogata con Erblio: tecnologia e

applicazioni", apparso sul Notiziario Tecnico SIP, anno 2°, n. 3, Dicembre 1993).

Pur potendo operare in una banda di lunghezze d'onda variabile da 1530 a 1570 nm, gli EDFA, per ciò che concerne l'uniformità di guadagno spettrale dovrebbero limitare l'intervallo operativo fra 1540 - 1565 nm. Qualora fossero richieste alte uniformità di guadagno, in applicazioni multicanale o analogiche, possono essere adottate tecniche di equalizzazione e stabilizzazione spettrale, oppure può essere modificato in modo opportuno il drogaggio della fibra attiva.

Nei casi in cui si vogliano realizzare amplificatori ottici operanti a 1,3 µm la matrice vetrosa silicea della fibra è sostituita da una matrice vetrosa fluorozirconata drogata con praseodimio *PDFFA (Praseodymium Doped Fluoride Fibre Amplifier)*. L'efficienza della fibra attiva fluorozirconata drogata con praseodimio è purtroppo solo un decimo di quella del sistema erbio-vetro. La bassa efficienza preclude per ora la possibilità di pompare questo tipo di OFA con sorgenti laser a semiconduttore, in quanto, per ottenere 30 dB di guadagno a 1300 nm, sarebbero necessari 300 mW di pompa iniettata in fibra a 1010 - 1017 nm. Laser a diodi emettenti in questa regione spettrale sono disponibili, ma non raggiungono ancora i livelli di potenza richiesti. Per questo motivo si sono dovute reperire sorgenti di pompa alternative allo stato solido, ad esempio laser a neodimio particolari, che però contribuiscono ad elevare il costo complessivo degli amplificatori PDFFA portandolo ad un valore di circa 90 milioni di lire, decisamente troppo alto per ipotizzare l'impiego di tali dispositivi, allo stato attuale, nella rete di accesso. La ricerca sugli OFA a 1300 nm è tuttavia in evoluzione, sia per ciò che riguarda l'efficienza, l'affidabilità e la disponibilità commerciale delle fibre fluorozirconate, sia per ciò che concerne le sorgenti di pompa alternative, quali ad esempio i dispositivi a semiconduttore di potenza *MOPA (Master Oscillator Power Amplifier)* o i laser in fibra silicea drogati con itterbio.

5.2 Amplificatori Ottici a Semiconduttore

Gli amplificatori ottici a semiconduttore (SOA) hanno una struttura simile per dimensioni, geometrie e composizione a quella dei laser a semiconduttore con cavità Fabry-Perot, dai quali sia stato però eliminato il "feedback" ottico in modo da realizzare un dispositivo ad onda viaggiante (*travelling wave*) privo di inneschi e di oscillazioni.

Per eliminare gli inneschi e le oscillazioni propri della struttura dei laser occorre ridurre il più possibile le riflessioni causate dagli specchi semiriflettenti delle strutture Fabry-Perot. Le riflessioni, sia pure ridotte, alle superfici di ingresso e di uscita degli amplificatori provocherebbero infatti un palleggio di energia avanti-indietro nella guida ottica del dispositivo, con un aumento di guadagno di alcuni modi di propagazione (effetto simile a quello dei laser) ed una conseguente ondulazione del segnale in uscita. Tale ondulazione del segnale non voluta, dovuta alla impossibilità tecnologica di ridurre a zero la riflessione delle facce terminali, viene detta "ripple" e deve essere, nei dispositivi di buona qualità, inferiore ad 1 dB.

AMPLIFICATORI OTTICI PER SISTEMI IN FIBRA OTTICA A 1,3 - 1,55 μm

Gli OFA (amplificatori ottici in fibra) hanno raggiunto un'ottima maturità operativa nei sistemi trasmissivi in fibra ottica operanti a 1,55 μm , permettendo di annullare gli effetti dell'attenuazione del segnale e di allungare le tratte di rigenerazione dipendenti ora soltanto da effetti di dispersione cromatica.

Nei sistemi operanti a 1,3 μm gli OFA non hanno ancora ottenuto prestazioni altrettanto soddisfacenti a causa di problemi tecnologici, che ancora devono trovare le soluzioni più opportune.

ISOA (amplificatori ottici a semiconduttori composti) possono operare con caratteristiche equivalenti sia a 1,3 sia a 1,55

μm , ed i notevoli miglioramenti di questi ultimi anni li hanno resi quasi competitivi con gli OFA (soprattutto alla lunghezza d'onda di 1,3 μm).

Le caratteristiche costruttive, le dimensioni ed i costi rendono OFA e SOA più complementari che competitivi nelle applicazioni.

Gli OFA, più ingombranti e più costosi, ma più facili da collegare alle fibre ottiche e con prestazioni superiori, sono impiegabili soprattutto nei sistemi di comunicazione a grande distanza o comunque nei casi in cui sono da amplificare segnali con notevole lar-

ghezza di banda.

ISOA, chip piccoli e relativamente poco costosi, ma critici nell'accoppiamento con le fibre ottiche (aspetto che fa perdere ai SOA parte dei loro vantaggi economici e limita le loro prestazioni), sono particolarmente indicati nell'impiego integrato con altri dispositivi optoelettronici e fotonici per la realizzazione di nuove funzioni (ad es. convertitori di lunghezza d'onda, matrici di commutatori e diramatori senza perdite, ecc...) ed in generale nei settori terminali e più capillari della rete.

Caratteristiche	OFA EDFA	OFA PDFFA	SOA BULK	SOA MQW
Tecnologia	Fibra e laser di pompa	Fibra e laser di pompa	Chip in semicond.	Chip in semicond.
Materiale fibra e chip	Silice	Vetri fluorozirconati	InGaAsP/ InP	InGaAsP/ InP
Tipo di pompaggio	ottico	ottico	elettrico	elettrico
Lunghezza d'onda [μm]	1,5	1,3	1,3 e 1,55	1,3 e 1,55
Guadagno interno [dB]	40 - 50	30	24	27
Guad. fibra/fibra [dB]	40 - 50	30	24	27
Larghez. di banda [nm]	25	30 - 40	30 - 60	60
Potenza di satur. [dBm]	20	23	9	15 - 16
Cifra di rumore [dB]	3,5 - 4	5 - 6	10	7
Dicroismo [dB]	~ 0	~ 0	< 1	< 0,5
Tempo rilassam. [μs]	10 ⁴	110	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴
Modulaz. alta velocità	no	no	si	si

La forte riduzione della riflessione alle estremità della guida ottica rappresenta la differenza tecnologica più sensibile che si presenta oggi nella realizzazione dei laser e dei SOA. Diverse sono le tecniche messe a punto per ridurre tali riflessioni: la deposizione di strati antiriflesso sulle facce terminali del dispositivo, la realizzazione di guide ottiche angolate rispetto al piano delle facce terminali ed infine la fabbricazione di guide rastremate (tapered) accoppiate ad un adeguato spessore di materiale omogeneo (window) prima delle facce terminali.

Per i SOA la riflettività residua delle facce terminali del dispositivo deve essere almeno inferiore a 10⁻³ ed ha valori soddisfacenti se dell'ordine di 10⁻⁵ ed eccellenti se inferiori a 10⁻⁶.

Altro aspetto tecnologico di rilievo nella fabbricazione dei SOA riguarda l'ottenere dispositivi insensibili alla polarizzazione, che cioè presentino basso dicroismo. (Si ricorda che si dicono dicroici quei materiali o quelle strutture che presentano differente indice di rifrazione, e quindi differenti proprietà di propagazione della radiazione, a seconda che la radiazione che li attraversa presenti una polarizzazione di tipo TE oppure TM). Dispositivi con un dicroismo, cioè con una differenza di guadagno della polarizzazione TE rispetto a quella TM, inferiore ad 1 dB possono ottenersi oggi seguendo due strade tecnologiche differenti: nel primo caso si cerca di eliminare l'asimme-

tria laterale/trasversale della guida attiva dei dispositivi a semiconduttore, facendo una guida attiva pressoché quadrata, che tende a rendere uguali i fattori di confinamento delle polarizzazioni TE e TM. Nel secondo caso si sfrutta la sensibilità a perturbazioni esterne della struttura a bande dei MQW, sottoponendola a sforzi di trazione (causati da un opportuno disadattamento reticolare) che favoriscono il coefficiente di guadagno per la polarizzazione TM, riequilibrando così il maggior guadagno della polarizzazione TE usuale nei dispositivi laser.

Un punto critico dei SOA rispetto agli OFA riguarda le perdite di accoppiamento fra la guida attiva a semiconduttore e la fibra ottica, che possono ridurre sensibilmente il guadagno complessivo dei dispositivi. La tecnica di "taper and window" sopra detta (simile a quella della rastremazione della guida attiva indicata nel paragrafo dei laser a basso costo per rete di accesso) oltre a ridurre la riflettività globale dei dispositivi, si sta rivelando molto utile anche per contenere le perdite di accoppiamento SOA - fibre.

Adottando questi accorgimenti sono riportati in letteratura esempi di SOA con strutture MQW, operanti a 1,3 μm , che presentano un guadagno del dispositivo di 33 dB (27,2 dB fibra-fibra), dicroismo inferiore ad 1 dB, potenza di uscita massima di +15 dBm con 600 mA di corrente di alimentazione (potenza di saturazione di +13 dBm), banda di amplificazione di 60 nm [18].

I valori sopra riportati sono dei "record", ma anche a livello commerciale le caratteristiche di alcuni dispositivi SOA (guadagni fino a 30 dB, potenza di saturazione di +9 dBm, banda di amplificazione di 30 nm, oscillazioni di guadagno (gain ripple) inferiori a 0,2 dB), cominciano ad essere di tutto rispetto e competitive con le caratteristiche degli OFA, per le applicazioni a 1,3 μm .

Infine, per quanto riguarda i SOA va segnalata la possibilità di integrarli con altri dispositivi fotonici e, in particolare, con le guide ottiche; questi possibili sviluppi favoriscono numerose varianti applicative come, ad esempio, la conversione di lunghezza d'onda, la demultiplazione ottica nel dominio tempo, la multifunzionalità di rivelazione non intrusiva e di modulazione, la realizzazione di matrici e di diramatori con perdita di inserzione nulla.

La corsa verso il più piccolo, il più complesso ed il più economico

6. Dispositivi fotonici integrati

I dispositivi fotonici integrati comprendono una vasta gamma di componenti attivi e passivi, realizzati con tecnologie molteplici [1, 19]. Nei paragrafi precedenti sono stati mostrati dispositivi realizzati essenzialmente con la tecnologia dei semiconduttori composti (a parte gli OFA). Nel settore dei circuiti integrati sono state usate in passato, ma soprattutto stanno emergendo ora a livello di ricerca, oltre alla tecnologia di integrazione basata sui semiconduttori composti, anche altre tecnologie di integrazione basate su niobato di litio, vetro su silicio, vetri drogati ed anche composti organici.

Negli anni passati queste tecnologie di integrazione alternative erano indirizzate soprattutto verso la realizzazione di dispositivi passivi, o al più per ottenere integrazioni di tipo ibrido, in cui gli elementi attivi (sempre dei dispositivi a semiconduttori composti) erano aggiunti con particolari tecniche di saldatura e connessione. Oggi si ritiene che in un prossimo futuro potranno essere realizzate con le nuove tecnologie integrate anche molti dispositivi attivi ed in particolare emettitori laser integrabili più facilmente con le guide ottiche.

Una mappa sistematica dei diversi tipi di dispositivi optoelettronici e fotonici integrati è stata proposta alcuni

anni fa, come indicato in fig. 16, da Alferness della AT&T, considerato uno dei padri dell'ottica integrata [20].

In questa mappa sono indicate le aree di sovrapposizione fra i domini dei dispositivi elettronici, dei dispositivi optoelettronici e dei dispositivi in ottica guidata, che generano a due a due le applicazioni dei circuiti optoelettronici integrati *OEIC* (*Opto-Electronic Integrated Circuit*), quelle dei circuiti fotonici integrati *PIC* (*Photonic Integrated Circuit*) e quelle dei circuiti integrati ibridi e del packaging. Vi è poi un'area di sovrapposizione dei tre domini sopra detti, che dà origine ai circuiti fotoelettronici integrati *PEIC* (*Photo Electronic Integrated Circuit*). Nell'uso pratico viene però fatta una distinzione fra due sole categorie di dispositivi: i dispositivi optoelettronici integrati (*OEIC* e *PEIC*) in cui sono integrati dispositivi ottici attivi e/o passivi con dispositivi elettronici; ed i dispositivi fotonici integrati (*PIC*) in cui l'integrazione è limitata ai dispositivi fotonici attivi e passivi.

6.1 Dispositivi optoelettronici integrati (OEIC)

Fra i dispositivi optoelettronici integrati (*OEIC*), i due tipi di circuiti più caratteristici, che hanno raggiunto i più elevati livelli di integrazione, sono senza dubbio i ricevitori ed i trasmettitori integrati in semiconduttori. La scala di integrazione degli *OEIC* a base InP raggiunge un massimo di circa 100 elementi per circuito, secondo i dati presentati recentemente da I. Mito ed A. Suzuchi della NEC. Questo livello di integrazione risulta molto piccolo rispetto ai livelli di integrazione dei circuiti in *GaAs* (*Arseniuro di Gallio*), che hanno superato i centomila elementi, e soprattutto se confrontati ai livelli di integrazione del Silicio, che ormai sono dell'ordine di cento milioni di elementi. Se si analizza l'andamento nel tempo del livello di integrazione degli *OEIC* in InP, riportato in fig. 17, si può notare che un notevole incremento si è verificato nella seconda metà degli anni ottanta. I ricevi-

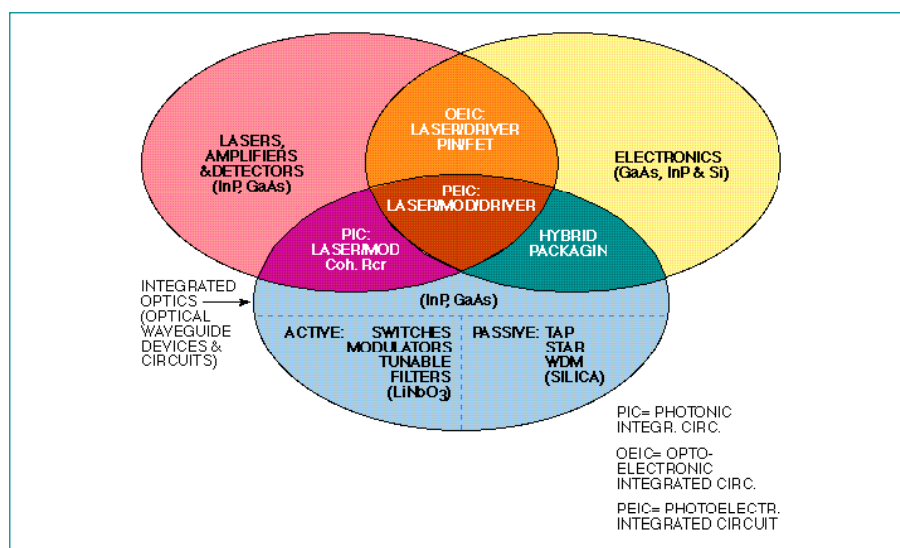


Figura 16 Dispositivi optoelettronici e fotonici integrati.

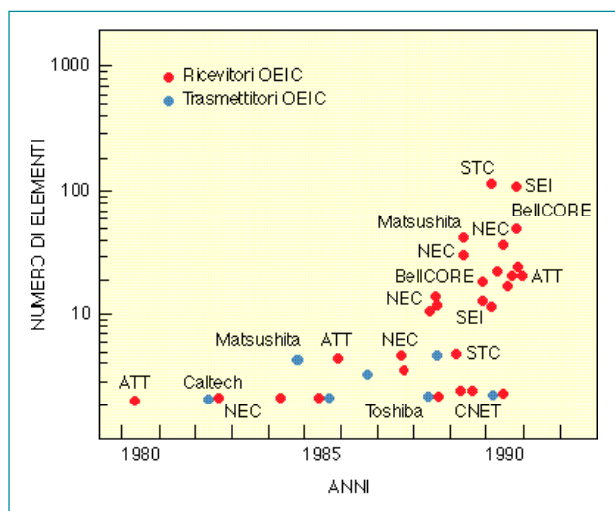


Figura 17 Scala di integrazione degli OEIC negli anni.

tori sono gli OEIC a più alto livello di integrazione, mentre i trasmettitori, a causa della maggiore criticità di realizzazione dei laser e delle loro elevate dissipazioni, si sono fermati a livelli inferiori di quasi un ordine di grandezza. Il ricevitore, costituito da un fotodiodo PIN seguito dal relativo preamplificatore elettronico, si è rivelato essere il più tipico degli OEIC. I transistori integrati nei preamplificatori sono realizzati con diverse tecnologie, ad esempio JFET, MESFET, HEMT e HBT. I JFET (*Junction Field Effect Transistor*) sono forse i più impiegati nell'integrazione dei ricevitori OEIC: con essi infatti sono stati realizzati alcuni fra i dispositivi più interessanti finora prodotti, ad esempio quelli a più alto numero di elementi. Per quanto riguarda le alte velocità di rivelazione gli HBT (*Heterojunction Bipolar Transistor*), i MESFET (*Metal Semiconductor FET*) e gli HEMT (*High Electron Mobility Transistor*) sono quelli che possono fornire le migliori prestazioni, come mostrato nella fig. 18. In questa figura è riportata la sensibilità dei ricevitori integrati monolitici realizzati, per un valore di errore di rivelazione ammesso predeterminato BER (*Bit Error Rate*), in corrispondenza della loro velocità di cifra di ricezione.

I valori riportati di sensibilità e di velocità dei ricevitori monolitici sono ormai molto prossimi alle prestazioni dei migliori ricevitori integrati di tipo ibrido. Molti dei dispositivi integrati di tipo monolitico, visti precedentemente, sono ora competitivi con i dispositivi che svolgono funzioni simili utilizzando integrazioni di tipo ibrido, e che impiegano cioè per l'integrazione tecnologie e materiali differenti.

I dispositivi integrati ibridi possono oggi presentare, in alcuni casi, prestazioni migliori rispetto ai circuiti integrati monolitici, sia per la possibilità di poter scegliere i singoli componenti con prestazioni ottimali, senza dover ricorrere a compromessi nei processi tecnologici realizzativi, sia per far coesistere su un unico substrato dispositivi che richiedono strutture diverse. Inoltre per i circuiti integrati monolitici, date le piccole dimensioni complessive e l'alta densità di im-

paccamento, diventano a volte critici i parametri parassiti di capacità e di induttanza, che possono peggiorare le caratteristiche di diafonia e limitare le prestazioni in frequenza dei dispositivi. D'altro canto però i dispositivi integrati monolitici consentono di raggiungere indubbiamente un'affidabilità sensibilmente maggiore in esercizio e, qualora i quantitativi richiesti fossero sufficientemente grandi, permetterebbero più bassi costi di produzione.

6.2 Dispositivi fotonici integrati (PIC)

Passando ai dispositivi fotonici integrati (PIC), le realizzazioni sono estremamente varie da un punto di vista tecnologico.

Considerando anzitutto la tecnologia a semiconduttore, i componenti che maggiormente si sono affermati, o che hanno buone prospettive di affermarsi in un prossimo futuro, possono essere così elencati: i laser integrati con i modulatori (di cui si è già parlato

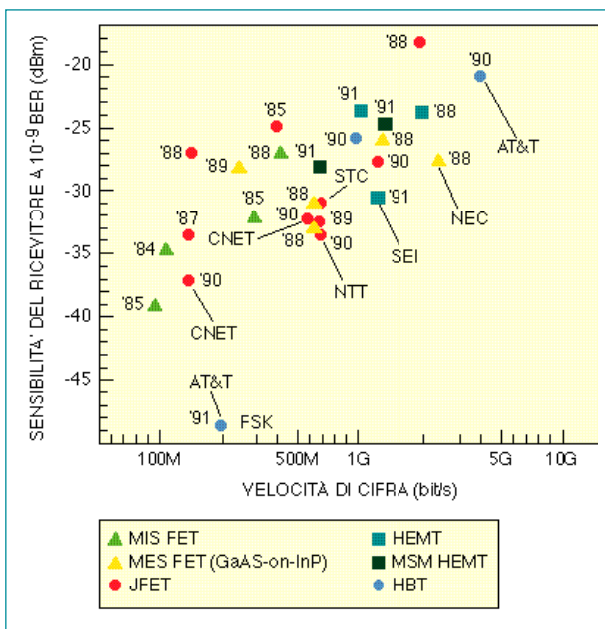


Figura 18 Sensibilità dei ricevitori OEIC e loro velocità di rivelazione.

nel paragrafo 3.4), i ricevitori per sistemi a multilunghezza d'onda WDM o coerenti, i transceiver, le matrici di commutatori ottici, i diramatori ottici a perdita di inserzione nulla, i convertitori di lunghezza d'onda.

Un esempio di integrazione di un ricevitore per sistemi coerenti, insensibile alla polarizzazione, realizzato dall'Heinrich Hertz Institute, è schematizzato nella fig. 19 [21]. In questo ricevitore sono integrati su un substrato di InP: un laser sintonizzabile DBR a quattro sezioni; un ruotatore di polarizzazione; due accoppiatori direzionali, separatori di polarizzazione; due accoppiatori a 3 dB per i modi TE e TM del segnale di ingresso e dell'oscillatore locale; due coppie di fotodiodi PIN bilanciati, collegati in serie; ed infine due preamplificatori elettrici a FET a basso rumore.

I transceiver (trasmettitore + ricevitore) apparten-

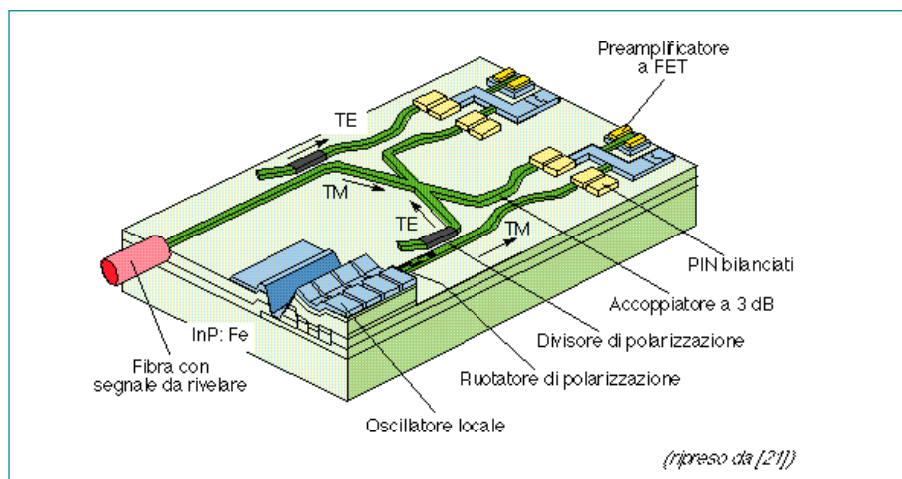


Figura 19 Ricevitore per sistemi coerenti insensibile alla polarizzazione realizzato dalla HHI.

gono alla classe dei circuiti integrati multilunghezza d'onda WDM, perché trasmettono ad una lunghezza d'onda e ricevono ad una diversa lunghezza d'onda (di solito sono realizzati transceiver per applicazioni riguardanti la rete di accesso, che operano a lunghezze d'onda di 1,3 ed 1,5 μm nei due versi di trasmissione). Uno dei più complessi transceiver finora realizzati è rappresentato nella fig. 20. In tale dispositivo sono integrati un laser, un separatore delle due lunghezze d'onda di tipo Mach-Zehnder, e quattro rivelatori a fotodiode [22].

Le matrici di commutatori ottici a semiconduttore sono ora concorrenziali con quelle in niobato di litio. A loro sfavore le matrici a semiconduttore presentano maggiori perdite di inserzione nel collegamento con le fibre ottiche; hanno invece dimensioni più ridotte di quelle in niobato e la possibilità di integrare in modo monolitico, come elemento di commutazione on-off, amplificatori ottici a semiconduttore (SOA), che consentono non solo di compensare le perdite di inserzione, ma anche di amplificare il segnale in uscita rispetto a quello in ingresso. Nella fig. 21 è riportata una matrice 4 x 4 realizzata dalla Ericsson, che utilizza i SOA sia come commutatori "on-off", sia come amplificatori. Questo dispositivo comprende 16 SOA, 4 divisori 1:2 in ingresso e 4 moltiplicatori 2x1 in uscita, il tutto integrato su substrato di InP. A livello prototipico sono in corso di realizzazione presso diversi laboratori anche matrici 8 x 8, integrate su un unico substrato di InP.

Diramatori e commutatori ottici 1:N (con N variabile da 2 a 32) sono pure in corso di realizzazione in forma integrata su substrati InP. A titolo di esempio in fig. 22 è riportato lo schema del commutatore 1:8 realizzato dalla Siemens,

che impiega, come elemento di deviazione 1:2, accoppiatori direzionali a tre guide ottiche [23]. Questi sono controllati da iniezioni di corrente, che variano l'indice di rifrazione delle guide ottiche provocando l'accoppiamento della guida centrale con l'una o con l'altra delle guide esterne. In questo commutatore, che ancora non fa uso di SOA integrati, si sono ottenute perdite di inserzione fibra-fibra inferiori ai 10 dB, grazie all'impiego di guide opportunamente rastremate, chiamate *MOST* (*MONolithically integrated Spot-size Transformer*), che limitano le perdite di accoppiamento guida ottica-fibra ad 1,3 dB.

L'integrazione di SOA, opportunamente situati nel circuito, potrebbe facilmente portare le uscite del commutatore a livelli di potenza ottica anche superiori a quelle degli ingressi.

Per quanto riguarda i materiali, può essere ricordato che il niobato di litio è stato uno dei primi utilizzati in ottica integrata, per via della sua tecnologia relativamente semplice e delle ottime proprietà elettro-ottiche, piezo-elettriche ed acusto-ottiche, che lo rendono adatto ad un ampio spettro di applicazioni. La promessa di una integrazione monolitica, più compatta di quella ottenibile con i dispositivi a semiconduttore, ha spesso limitato in passato la ricerca nel settore del niobato di litio, ma non ha tuttavia impedito la realizzazione di alcuni prodotti ora affermati, come: i modulatori di intensità sia analogici sia numerici, le matrici di commutazione elettro-ottiche, i filtri e i diramatori acusto-ottici e i laser in guida ottica drogata con erbio.

I dispositivi integrati in niobato di litio presentano, rispetto agli equivalenti a semiconduttore, il notevole vantaggio di avere perdite decisamente inferiori nell'accoppiamento con le fibre ottiche. Questa caratteristica consente, insieme alla maggiore semplicità

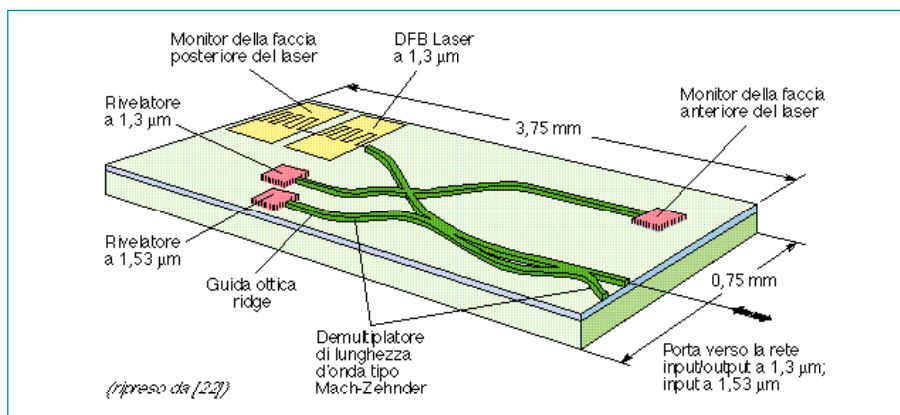


Figura 20 "Transceiver" (trasmettitore-ricevitore) realizzato dalla GEC - Marconi Materials Technology.

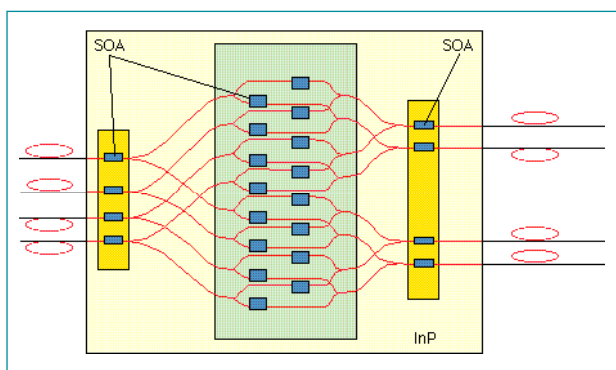


Figura 21 Matrice spaziale 4 x 4 realizzata in tecnologia InP dalla Ericsson.

tecnologica, di raggiungere complessità maggiori di integrazione. Si sono infatti realizzate, ad esempio, matrici di commutatori di grandi dimensioni, 16x16 e 32x32 (che però richiedono un'elettronica di controllo piuttosto complessa a causa delle possibili disuniformità tra le tensioni di pilotaggio richieste per indirizzare le diverse decine di elementi elettro-ottici).

La recente dimostrazione della possibilità di realizzare guide in niobato di litio attive, drogate con erbio, ha consentito di ottenere sperimentalmente laser emettenti a 1,55 μm , che possono contribuire ad ampliare ulteriormente, in un prossimo futuro, il numero di applicazioni consentite coperte da questo tipo di dispositivi fotonici integrati.

Per ciò che concerne i dispositivi integrati in vetro su silicio, può essere sottolineato che essi sfruttano da un lato la maturità raggiunta dalla tecnologia del silicio e le proprietà termiche, meccaniche, chimiche e di microlavorabilità di questo materiale, e dall'altro la possibilità di realizzare guide ottiche a bassissima attenuazione e simili strutturalmente alle fibre ottiche monomodali (quindi con trascurabili perdite di accoppiamento).

Poiché silicio e vetro non presentano effetti elettro-ottici o elettro-acustici significativi, con questi materiali si possono realizzare essenzialmente dispositivi di tipo statico (passivi). Le caratteristiche del silicio sopra dette permettono di ottenere tuttavia scanalature di allineamento di fibre e sedi di montaggio di altri componenti attivi, elettronici ed optoelettronici, che rendono praticabile e conveniente la realizzazione di veri e propri "banchi ottici in silicio" e quindi la produzione di circuiti fotonici integrati di ti-

po ibrido. Tra i componenti che più si prestano ad essere realizzati con questa tecnologia possono essere citati: gli accoppiatori ed i diramatori acromatici (cioè insensibili alla lunghezza d'onda ed entro certi limiti anche alla polarizzazione); i commutatori termo-ottici; i filtri ed i moltiplicatori e demoltiplicatori in lunghezza d'onda (WDM); ed una vasta gamma di dispositivi ibridi (ricevitori, trasmettitori, subassemi guida-fotodiodo, guida-laser, guida-fibra ...).

Come nel caso del niobato di litio, la possibilità di drogare con erbio anche le guide ottiche in vetro consente inoltre un'amplificazione ottica, che può portare alla realizzazione di laser integrabili monoliticamente nei moduli in vetro su silicio.

Infine sembra opportuno citare la possibilità futura di disporre di dispositivi fotonici integrati realizzati con composti organici (essenzialmente polimeri). Ottenere guide ottiche con questi materiali è molto attraente per la semplicità ed per l'economicità dei processi di fabbricazione, che possono essere eseguiti mediante la fotopolimerizzazione, l'iniezione, lo stampaggio, la laminazione.

In linea di principio tutti i diversi dispositivi citati precedentemente possono essere realizzati con i materiali organici. In effetti però, perché i dispositivi fotonici organici superino l'attuale fase di ricerca, bisogna che sia verificata la loro stabilità di funzionamento nel tempo e la loro affidabilità quando siano sottoposti a condizioni di funzionamento gravose per temperatura, umidità e densità di potenza ottica. E' anche necessario che l'attenuazione delle loro guide, oggi ancora abbastanza alta, soprattutto alle lunghezze d'onda superiori al micron, scenda a valori comparabili con quelli delle guide in vetro o in niobato di litio. Nelle teleco-

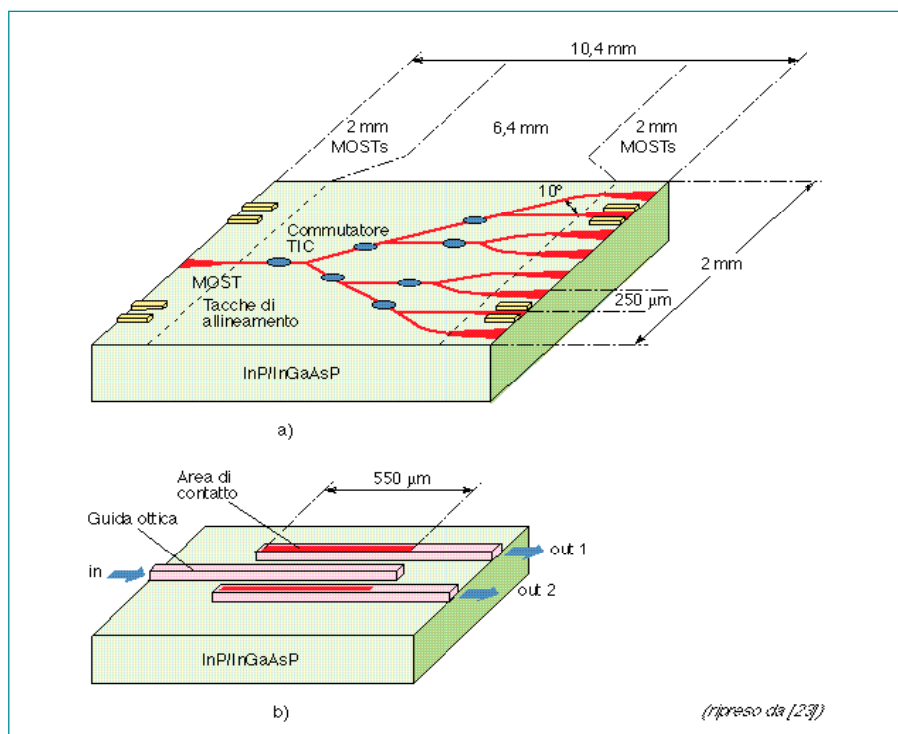


Figura 22 Commutatore ottico 1 : 8 realizzato dalla Siemens.

municazioni i dispositivi in materiali organici potrebbero trovare una prima valida applicazione nella parte terminale della rete di accesso a larga banda, magari in concomitanza con l'impiego di fibre ottiche in plastica, con cui potrebbero essere particolarmente compatibili.

Un po' di futuro... . Quale futuro?

7. Evoluzione futura dei dispositivi fotonici nei sistemi di telecomunicazione

Nei paragrafi precedenti è stata dapprima analizzata l'evoluzione dei dispositivi fotonici, che hanno contribuito a determinare in modo decisivo il più recente ed importante sviluppo tecnologico dei sistemi di telecomunicazione di questi ultimi anni. Successivamente sono stati descritti con maggiore dettaglio alcuni dei più significativi componenti fotonici oggi impiegati, dando alcune indicazioni del loro stato dell'arte e dei loro prossimi sviluppi.

Può ora sorgere spontanea la domanda: quale sarà l'evoluzione futura delle comunicazioni ottiche ed in che modo potranno concorrere o saranno determinanti per tale evoluzione i futuri componenti fotonici? La risposta non è certamente facile, né tanto meno sicura, tuttavia può essere stimolante tentarla.

Si può dire, guardando ad un futuro non proprio

immediato, che i prossimi passi evolutivi delle reti di telecomunicazioni ottiche dovranno prima o poi cercare di rispondere alla domanda se siano ancora valide le architetture esistenti. Queste architetture infatti sono state studiate e realizzate per le tradizionali reti di trasporto coassiali o in ponte radio e ad esse sono state successivamente adattate le reti ottiche contenendo, per motivi economici e di continuità, il numero e la complessità dei cambiamenti possibili.

In caso di cambiamenti necessari, può essere quindi opportuno chiedersi quando, alla luce delle possibilità offerte dall'ottica (ma anche da altri tipi di comunicazioni, come ad esempio quelle mobili e da satellite), sarà più conveniente sviluppare architetture innovative, più razionali ed economiche per i nuovi contesti tecnologici e in grado di soddisfare le richieste di nuovi servizi. In pratica la risposta che guiderà l'evoluzione dei futuri sistemi di telecomunicazione sarà sicuramente dipendente dalle richieste dei clienti del futuro: la multimedialità, la mobilità, la comunicazione personale, o altre nuove esigenze e bisogni che saranno via via richiesti dalla Società dei prossimi decenni. Ma è anche certo che in parallelo a questi aspetti di servizi e di sistemi si dovranno considerare gli interrogativi relativi ai componenti fotonici del futuro: quali saranno i limiti tecnologici degli attuali dispositivi? si inventeranno nuove funzioni che permetteranno soluzioni e prestazioni ora non immaginabili?

Sono domande, come già detto, a cui in generale non è facile e forse neppure possibile dare oggi una risposta. Cercando però di utilizzare al meglio gli elementi ora a disposizione, possiamo soffermarci su alcuni aspetti ed affermare, ad esempio, che nelle reti di telecomunicazione è prevedibile nel prossimo futuro

DISPOSITIVI FOTONICI ED OPTOELETTRONICI INTEGRATI

I dispositivi fotonici ed optoelettronici integrati sono ad uno stadio evolutivo di complessità ancora iniziale rispetto ai circuiti integrati microelettronici.

Per il loro sviluppo ci sono spinte applicative di notevole interesse: maggiori complessità e migliori prestazioni tecniche, ottenibili a costi inferiori; ma sono ancora presenti notevoli ostacoli tecnologici da superare: la compatibilità di processi tecnologici fra i dispositivi attivi e passivi dei circuiti e, soprattutto nel caso di dispositivi integrati a semiconduttori composti, i problemi di dicroismo (sensibilità alla polarizzazione della luce) e quelli rela-

tivi alle perdite di accoppiamento con le fibre ottiche.

I circuiti optoelettronici integrati (OEIC) a semiconduttore più impiegati sono attualmente i ricevitori con pre-amplificatore elettronico integrato, i trasmettitori con i driver elettronici dei laser e i "transceiver" (ricevitori integrati con trasmettitori).

I circuiti fotonici integrati (PIC) a semiconduttore, che si stanno utilizzando, comprendono matrici di commutatori spaziali con dimensioni variabili da 2×2 a 32×32 e diramatori ottici variabili da 1×2 a 1×32 . Quando queste matrici di commutatori o i diramatori impiegano come elementi di commutazione ottica gli amplificatori ottici a semiconduttore, è possibile ottenere dispositivi con perdite di inserzione nulla (o addirittura con guadagno di inserzione), che potranno avere in futuro notevoli interessi applicativi

nelle reti di distribuzione e di accesso.

Più maturi da un punto di vista tecnologico dei dispositivi PIC a semiconduttore sono oggi i dispositivi PIC in Niobato di Litio. Essi sono già presenti infatti in numerose applicazioni: accoppiatori direzionali, interferometri ottici e matrici di commutazione. Questi dispositivi sono tuttavia per ora essenzialmente di tipo passivo, anche se in un prossimo futuro potranno contenere componenti attivi (amplificatori ottici e laser) realizzati con tecniche di drogaggio molto simili a quelle impiegate per gli amplificatori ottici in fibra ottica (OFA).

Altri candidati per i futuri dispositivi PIC sono i materiali plastici organici, che, pur senza avere l'obiettivo di raggiungere complessità particolarmente grandi, potrebbero tuttavia risolvere problemi di economicità in applicazioni non molto sofisticate.

un ulteriore e costante aumento del traffico o della banda necessaria al trasporto di un singolo servizio, con la conseguente richiesta di aumento di capacità di trasporto delle reti primarie di giunzione ed a lunga distanza. Si possono quindi ritenere quasi certi l'utilizzo sempre più ampio dei sistemi in fibra ottica e la richiesta di prestazioni di rete sempre più spinte nella direzione delle alte velocità e della densità di multiplexing ottica nella rete di trasporto. D'altro canto la larga banda e la multimedialità, con il possibile impiego della "realtà virtuale" per applicazioni didattiche, culturali o di intrattenimento basate sulla telepresenza, fa prevedere un elevato interesse per lo sviluppo capillare delle reti di distribuzione in fibra ottica.

Nuove funzionalità e maggiori prestazioni nelle reti di trasporto (giunzione e lunga distanza) e l'avvio della trasmissione a larga banda nella rete di distribuzione indicano quindi abbastanza chiaramente come le reti di telecomunicazione diventeranno in futuro sempre più ottiche. Avremo allora in futuro reti di comunicazione solo e completamente ottiche? Probabilmente no. Le possibilità di previsione attuali fanno pensare che l'elettronica continui ad essere favorita nell'elaborazione dei segnali di tipo seriale, almeno fino a certi valori di frequenze di cifra. Mentre l'ottica sfrutterà i vantaggi che presenta nell'elaborazione parallela di immagini e di segnali bidimensionali e nell'elaborazione di segnali ad altissima velocità.

Probabilmente, senza allontanarsi troppo dalle architetture attuali, due potrebbero essere allora i settori principali dello sviluppo futuro delle comunicazioni ottiche: le autostrade "tutto-ottico" a frequenze di cifra oltre i 100 Gbit/s; le interconnessioni ottiche in cui le attuali tecniche di indirizzamento in ottica guidata possono essere complementate da tecniche ottiche di tipo "free space".

Per la prima applicazione sembra possibile poter disporre in futuro di dispositivi fotonici quantistici, che consentano l'elaborazione di segnali ottici a controllo ottico (tutto-ottico) senza soffrire delle limitazioni intrinseche dei controlli elettronici, che limitino la velocità operativa. Anche se per ora la sperimentazione ha permesso solo la realizzazione di dispositivi ancora affetti da vari problemi, con prestazioni limitate a circa 1 Gbit/s, sarà possibile in linea di principio disporre in futuro di dispositivi bistabili di memoria, di rigeneratori e di amplificatori di segnale e di commutatori spaziali comandati da potenze ottiche piccolissime, velocissimi ed affidabili (non essendo tali dispositivi penalizzati dai contatti di tipo elettrico e quindi dai parametri parassiti che limitano le prestazioni dei dispositivi elettronici). E' evidente però che l'applicabilità di dispositivi del tipo tutto-ottico non potrà comunque essere immediata, ma richiede lo studio di nuove architetture sistemiche in grado di sfruttare appieno le loro potenzialità nel raggiungimento delle prestazioni previste.

Per le tecniche di interconnessione ottiche molto può ancora essere fatto a livello dei sistemi e degli apparati esistenti per migliorarne l'affidabilità, la loro frequenza di cifra operativa e probabilmente anche per ridurne i costi.

Ma le interconnessioni ottiche "free space" potrebbero anche portare a nuove applicazioni rivoluzionarie, quali, ad esempio, quelle che si intravedono per

il settore della permutazione delle comunicazioni, in cui le diverse configurazioni vengano modificate velocemente ed economicamente con tecniche ottico-diffrattive dinamiche.

Per arrivare a questa realizzazione sarà necessario però, non solo mettere a punto estesi piani di matrici bidimensionali di emettitori e di rivelatori verticali, dei quali già ora è dimostrabile in qualche modo la fattibilità, ma anche sviluppare piani di reticoli diffrattivi estesi, che per ora si pensa di poter realizzare soltanto in modo fisso tramite olografia e che sarebbe invece necessario poter modificare nel tempo con opportuni comandi.

Tutto questo campo di ricerca è in forte evoluzione e, al di là delle previsioni che potranno rivelarsi nel tempo più o meno attendibili, può essere concluso con certezza che le possibilità offerte dai dispositivi fotonici continueranno a crescere con gli sviluppi delle telecomunicazioni e permetteranno di rispondere sempre più e meglio alle esigenze di trasmissione con maggiore velocità di cifra e con più larga banda del segnale da trasportare nella rete.

Abbreviazioni

APD	= Avalanche PhotoDiode
ASE	= Amplified Spontaneous Emission
BER	= Bit Error Rate
DBR	= Distributed Bragg Reflector
DFB	= Distributed Feed- Back
EDFA	= Erbium Doped Optical Amplifier
F/P	= Laser del tipo Fabry-Perot
GaAlAs	= Arseniuro di Gallio e Alluminio
GaAs	= Arseniuro di Gallio
HBT	= Heterojunction Bipolar Transistor
HDWDM	= High Density Wavelength Division Multiplexer
InGaAs	= Arseniuro di Gallio e Indio, semiconduttore composto ternario
InGaAsP	= Fosfo-Arseniuro di Gallio e Indio
InP	= Fosfuro di Indio
JFET	= Junction Field Effect Transistor
LASER	= Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LED	= Light Emitting Diode
MBE	= Molecular Beam Epitaxy
MESFET	= Metal-Silicon Field Effect Transistor
MOCVD	= Metal-Organic Chemical Vapour Deposition
MOPA	= Master Oscillator Power Amplifier
MQW	= Multi Quantum Well
MTBF	= Mean Time Between Failure
OEIC	= Opto-Electronic Integrated Circuit
OFA	= Optical Fibre Amplifier
PDFFA	= Praseodymium Doped Fluoride Fibre Amplifier
PEIC	= Photo-Electronic Integrated Circuit
PIC	= Photonic Integrated Circuit
PIN	= P - Intrinseco - N
VESCE	= Verticale Cavità Editing Laser

Bibliografia

- [1] Technical staff of CSELT: *Fiber Optic Communication Handbook*. Ed. TAB Books 1990.
- [2] Destefanis, G.; Ghergia, V.; Meliga, M.: *Emettitori, rivelatori e dispositivi optoelettronici e fotonici integrati a semiconduttore*. «Alta frequenza», Vol. 7, n. 6, novembre-dicembre 1995.
- [3] Cadeddu, R.; Vezzoni, E.; Donati, S.; Rotolo, S.: *Reti Ottiche a più lunghezze d'onda: stato e prospettive*. «Fotonica '93», Arezzo, aprile 1993.
- [4] Okai, M. et alii: *Strained Multi-Quantum Well corrugation-pitch modulated DFB laser with ultra-narrow spectral linewidth*. «Electronics Letters», Vol. 29, n. 19, September 1993.
- [5] Caponio, N. et alii: *Analysis and design criteria of three-section DBR tunable laser*. «IEEE J. on Selected Areas in Communications», Vol. 8, n. 6, August 1990.
- [6] Bertone, D. et alii: *Tunable DFB laser modules for coherent system experiments*. Proc. ISHM-Italy, Milano, June 1994.
- [7] Kotaki, Y. et alii: *Tunable DBR laser with wide tuning range*. «Electron. Letters», Vol. 24, 1988.
- [8] Jayaraman, V. et alii: *Widely tunable continuous wave InGaAsP/InP sampled grating laser*. «Electronics Lett.», Vol. 30, 1994.
- [9] Campi, D. et alii: *Polarization-independent InGaAsP/InP MQW waveguide electroabsorption modulator*. «Electronics Lett.», Vol. 30, 1994.
- [10] Kataoka, T. et alii: *20 Gbit/s transmission experiments using an integrated MQW modulator/DFB laser module*. «Electronics Lett.», Vol. 39, 1994.
- [11] Robertson, M.J. et alii: *Passive alignment of a tapered 1.55 μm laser with coupling efficiency greater than 50 %*. Proc. 7th Conference on Integrated Optics (ECIO '95), Delft, April 1995.
- [12] Lealman, I.F. et alii: *nGaAsP/InP tapered layer MQW laser with 1.8 dB coupling loss to cleaved singlemode fibre*. «Electronics Lett.», Vol. 30, 1994.
- [13] Lear, K.L. et alii: *Vertical cavity surface emitting lasers with 21 % efficiency by metalorganic vapor phase epitaxy*. «IEEE Photonics Technology Lett.», Vol. 6, 1994.
- [14] Tsuji, M. et alii: *InAlGaAs Staircase Avalanche Photodiodes grown by MOVPE*. ECOC 1993, Vol. 2.
- [15] Caldera, C.; Potenza, M.: *Dispositivi per amplificazione ottica*. «Alta frequenza», Vol. 7, n. 6, novembre-dicembre 1995.
- [16] Costa, B.: *Impact of optical amplification on the optical network*. Proc. EFOC/LAN '92, Parigi, giugno 1992.
- [17] Artiglia, M.; Di Vita, P.; Potenza, M.: *Optical Fibre Amplifier s: physical model and design issues*. «Optical Quantum Electron.», Vol. 26, 1994.
- [18] Tiemeijer, I. et alii: *Polarization insensitive MQW laser amplifiers*. Proc. Opt. Ampl. & Their Appl., Breckenridge (USA), August 1994.
- [19] De Bernardi, C.; Bosso, S.; Corsini, R.; Chiaretti, G.: *Dispositivi ottici integrati in materiali dielettrici: niobato di litio, vetri, composti organici*. «Alta frequenza», Vol. 7, n. 6, novembre-dicembre 1995.
- [20] Alferness, R.C.: *Recent advanced in integrated optics*. ECEC/IOOC, Parigi, 1991.
- [21] Heidrich, H.: *Photonic integrated receivers/transceivers for OFDM systems*. IOOC'95, Hong Kong, 1995.
- [22] Williams, P.; Charles, P.; Carr, N.; Reid, D.; Forbes, N.; Thom, E.: «Electron. Letters», Vol. 30, 1995.
- [23] Stoll, L. et alii: *8 optical matrix switch on InP/InGaAsP with integrated mode transformer*. ECIO '95, Delft, 1995.
- [24] K.Peterman: *Laser diode modulation and noise*. Kluwer Academic Publishers. 1991.



Vittorio Ghergia ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica presso il Politecnico di Torino e la specializzazione in Telecomunicazioni presso il Galileo Ferraris. Assunto in CSELT nel 1966, ha svolto una intensa attività con responsabilità crescenti nel settore dei componenti elettronici ed optoelettronici. Dal 1996 coordina la Linea Qualificazione Appareti e Sistemi Trasmissivi. Dal 1978 al 1986 è stato docente presso il Politecnico di Torino, incaricato del corso di "Tecnologie Elettroniche". Nel periodo 1984-1990 è stato project leader del programma ESPRIT dedicato all'optoelettronica, intitolato "Indium Phosphide-based Integrated Optoelectronic" e successivamente ha partecipato ad alcuni progetti del programma RACE. E' autore e coautore di una trentina di pubblicazioni e di libri pubblicati da editori internazionali quali: "Optical Fibre Communications"; "Microelectronic Reliability"; "Fibre Optic Communications Handbook".



Flavio Melindo, ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica presso il Politecnico di Torino. E' responsabile della Linea Tecnologie di Commutazione e Hardware presso lo CSELT di Torino, dove si occupa di tecniche di commutazione, supporto al progetto, applicazioni di microelettronica, controllo energetico e interconnessioni ottiche. Dal 1987 al 1991 è stato responsabile della Divisione Informatica, interessandosi tra l'altro di applicazioni di Intelligenza Artificiale e di tecniche di comprensione del parlato. Ha una lunga esperienza nella progettazione di circuiti numerici, che risale alla realizzazione della prima centrale telefonica numerica messa in servizio in Italia (1971). Detiene numerosi brevetti in vari settori di commutazione, segnalazione e applicazioni di nuove tecnologie.

Evoluzione delle tecniche trasmissive e dei metodi di misura della qualità del servizio facsimile

PIERO IZZO
VINCENZO PASQUINI
RAOUL PIERONI

L'uso del fax è ormai diventato un modo di comunicare consolidato su scala mondiale; mediante la comune rete telefonica è possibile trasferire in tempo reale tutto ciò che è esprimibile in forma scritta: lettere, documenti, grafici, figure. In questo lavoro, suddiviso in due articoli, ci si propone di dare un quadro complessivo delle problematiche inerenti questo servizio ponendo l'attenzione sugli aspetti della qualità. Le motivazioni che hanno indotto ad esporre questa tematica si fondano, essenzialmente, sulla elevata entità di traffico originata dal servizio facsimile sulla rete telefonica commutata e sulla considerazione che i terminali fax, essendo di basso costo, dispongono (e non tutti) di limitate prestazioni finalizzate alla correzione di errori prodotti da un eventuale degrado della rete.

In questo articolo, dopo aver introdotto le tecniche di trasmissione di un messaggio fax, si descrivono le principali attività condotte dal gestore italiano riguardo ai primi problemi di caratterizzazione della qualità delle comunicazioni facsimile.

In un articolo successivo si illustreranno i parametri di qualità del servizio fax ad oggi definiti in ambito internazionale e saranno presentati l'SMTF (Sistema di Monitoraggio del Traffico Facsimile), realizzato da Telecom Italia, nonché i risultati della sperimentazione condotta con questo sistema di misura presso la Direzione Territoriale Rete C1 di Telecom Italia.

1. Introduzione

E' comune esperienza la verifica della straordinaria diffusione di quei dispositivi chiamati usualmente *macchine fax*, con i quali è possibile trasmettere, per mezzo della normale rete telefonica, messaggi scritti. Essi interessano ogni ambiente della moderna civiltà del lavoro quali, ad esempio, fabbriche e banche, uffici pubblici e privati, ospedali e scuole, ma cominciano a diffondersi anche all'interno delle abitazioni e costituiranno, forse, uno degli strumenti di lavoro del futuro *telelavoro*.

L'uso del fax è, dunque, diventato un particolare modo di comunicare, su scala mondiale, fra le strutture produttive delle molteplici realtà economiche: mediante questo strumento, e mediante la rete trasmissiva, è possibile trasferire in tempo reale, da un qualunque luogo verso un qualsivoglia altro sito dell'intero globo, quanto è esprimibile in forma scritta: lettere, documenti, grafici, figure.

Il trasporto di questa informazione avviene mediante specifiche modalità trasmissive che identificano quella che, in termini tecnici, è chiamata comunemente *trasmissione facsimile*.

Si tratta di un servizio che fornisce un notevole valore aggiunto rispetto al servizio di comunicazione vocale tradizionalmente offerto dalla rete di telecomunicazione (TLC); perché questo valore aggiunto sia pienamente fruibile è tuttavia necessario tenere sotto controllo alcuni parametri di qualità che, pur influenzando limitatamente la trasmissione fonica, incidono in modo considerevole sul servizio facsimile (ad esempio il rumore impulsivo).

La qualità della rete, quindi, è strettamente legata alla qualità della trasmissione facsimile, ovvero alla qualità effettivamente percepita dal cliente quando riceve il documento trasmesso; le caratteristiche funzionali dei terminali fax oggi disponibili assicurano prestazioni così elevate da far ritenere le connessioni di rete, o meglio, i parametri che ne caratterizzano le capacità trasmissive, quali uniche variabili in grado di condizionare la qualità di questo particolare mezzo di comunicazione.

In pratica, tuttavia, anche le caratteristiche trasmissive della attuale rete commutata forniscono, normalmente, livelli ottimali per il servizio fax; non è perciò necessario predisporre sulla rete alcunché di particolare per consentirne l'uso da parte degli utenti

di questo servizio.

La rete telefonica pubblica commutata ha oggi, quindi, la capacità, specie nelle aree numeriche, di fornire un servizio a valore aggiunto senza bisogno di introdurre *infrastrutture aggiunte* rispetto a quelle predisposte per il normale servizio telefonico; questa caratteristica ha permesso di soddisfare l'esigenza di trasferire documenti a basso costo ed ha contribuito a sviluppare sensibilmente il servizio fax.

La verifica di questa risposta, sostanzialmente molto positiva da parte del Cliente, non ha esonerato, naturalmente, i Gestori delle reti TLC dall'affrontare il problema della qualità del fax rispetto alla qualità della rete; un'intensa attività è stata effettuata per studiare e definire adeguati parametri di valutazione, nonché per sviluppare e per predisporre modelli e sistemi specifici di misura.

L e origini del fax

2. Il terminale fax

2.1 Alcuni richiami storici

La storia del fax, anche se sembra inverosimile, ha origini precedenti a quelle del telefono.

Il dispositivo per la trasmissione facsimile, infatti, nasce quasi contemporaneamente al telegrafo e, almeno in origine, ha molte caratteristiche comuni con questo: entrambi trasmettono l'informazione per mezzo di aperture/chiusure di un contatto (è una arcaica codifica di tipo numerico) che interrompe o che permette la circolazione di corrente sul circuito di trasmissione; entrambi usano, come circuito di trasmissione, la linea telegrafica a singolo filo e ritorno dalla terra; entrambi visualizzano l'informazione ricevuta operando il tracciamento di segni grafici su carta.

Il telegrafo registratore

Il primo dispositivo che può considerarsi il capostipite dei dispositivi fax è stato brevettato dal fisico scozzese Alexander Bain nel 1843 ed era chiamato *telegrafo-registratore*. Morse presentò negli stessi anni il suo telegrafo al presidente USA Martin Van Buren (1838) e lo brevettò nel 1848.

La messa a punto del fax fu legata, probabilmente, alla scoperta che la carta saturata con una soluzione elettrolitica cambia colore nei punti in cui è attraversata dalla corrente elettrica; il ricevitore di Bain, infatti, scriveva il messaggio ricevuto su questo tipo di carta.

Il testo da trasmettere veniva composto predisponendo, su un supporto piano e rettangolare posizionato verticalmente, le lettere formate con caratteri tipografici metallici. Il supporto veniva *esplorato* in senso

orizzontale da una punta, anch'essa metallica, posizionata su un'asticciola mossa orizzontalmente dal moto di un pendolo: il contatto della punta con i caratteri del testo, durante il movimento, determinava il passaggio di corrente nel circuito telegrafico ottenendo così, per ogni linea di scansione, una corrente modulata *on-off* riprodotte la disposizione dei caratteri stessi.

In senso verticale, il supporto era dotato di un movimento fornito da un dispositivo ad orologeria sincronizzato dal moto del pendolo, in modo da permettere la scansione dell'intero testo.

La pagina da scrivere (carta elettrolitica), sul ricevitore, veniva predisposta su un supporto costituito da una piastra metallica conduttrice, di forma identica a quello di trasmissione e mosso in modo analogo. Una punta metallica, posizionata sull'estremità dell'asticciola orizzontale mossa dal pendolo, costituiva la *penna* di scrittura; questa era posta a contatto con la carta ed era inserita nel circuito telegrafico.

Quando in esso circolava corrente, a seguito della chiusura del contatto elettrico sul carattere metallico del testo, la corrente transitava attraverso la penna: sulla carta elettrolitica si formava così una traccia che, con il procedere della scansione, ricomponneva il testo trasmesso.

Uno dei maggiori problemi presenti in questo tipo di apparecchiatura era costituito dal sincronismo fra il movimento di scansione in trasmissione e quello in ricezione; erano stati introdotti alcuni accorgimenti di tipo elettromeccanico, ma il mantenimento del *passo* fra i due terminali era sensibilmente condizionato dalla lunghezza della linea di trasmissione.

La trasmissione telegrafica era, infatti, una trasmissione particolarmente lenta (si pensi semplicemente alla ripetizione dei segnali, sulle linee lunghe, attraverso relé) ed anche i primi dispositivi fax erano, forse, troppo innovativi per quel tipo di tecnica trasmissiva; dovevano trascorrere ancora circa 50 anni da quelle prime esperienze, prima di risolvere in modo soddisfacente i problemi di sincronismo fra trasmissione e ricezione delle macchine facsimile.

Nel processo descritto si possono riconoscere, seppure in forma primitiva, le fasi fondamentali del funzionamento di un moderno fax: lettura e codifica, trasmissione, decodifica e scrittura.

Il fax a tamburi rotanti

Nel 1848, il fisico inglese Frederick Bakewell brevettava un secondo tipo di fax che presentò all'Esposizione internazionale di Londra del 1851.

Le principali differenze rispetto alla macchina di Bain riguardavano l'introduzione di tamburi rotanti per il movimento di scansione e, in luogo dei caratteri tipografici metallici, l'uso di un più conveniente inchiostro isolante con il quale predisporre il testo da trasmettere su una superficie conduttrice.

La macchina pantelegrafica

Il primo impiego commerciale del facsimile lo si deve a Giovanni Casselli che brevettò, nel 1861, il suo fax, chiamato *macchina pantelegrafica*; il servizio facsi-

TRASMISSIONE FACSIMILE: MEZZO DI COMUNICAZIONE MOLTO ANTICO OGGI STRAORDINARIAMENTE DIFFUSO

- Il fax ha origini antecedenti a quelle del telefono ma il successo di questo tipo di comunicazione si è presentato negli ultimi due decenni di questo secolo determinando una sensibile riduzione di altre modalità di trasmissione di documenti scritti quale, ad esempio, il telex.
- La normalizzazione internazionale del fax e la disponibilità di tecniche e tecnologie avanzate applicate a queste apparecchiature, hanno favorito lo sviluppo di questo tipo di trasmissione sulla normale rete di telecomunicazione, con risultati che soddisfano le attese della clientela in termini di qualità e di economicità del servizio.
- La trasmissione facsimile rappresenta un "servizio a valore aggiunto" rispetto ai servizi tradizionalmente offerti sulla rete telefonica: il trasferimento in tempo reale ed a basso costo di documenti scritti o di documenti grafici. I fax normalizzati nel Gruppo 3, che sono quelli oggi diffusamente utilizzati sulla rete mondiale, permettono di trasferire una pagina formata A4 in un tempo massimo di 1 minuto; quelli del Gruppo 4, la cui utilizzazione è possibile sulla rete ISDN, trasmettono una pagina A4 in un tempo massimo di 5 secondi.

mile iniziò nel 1865 fra Lione e Parigi e fu esteso successivamente a molte altre città francesi.

La fig. 1 presenta una copia ricevuta con il fax di Casselli nel 1861 per mezzo di un circuito telegrafico su lunga distanza: essa mette bene in evidenza come, nonostante i limiti di una tecnica ancora molto primitiva ed i condizionamenti di problemi non risolvibili con i mezzi allora disponibili, si potevano già ottenere risultati lusinghieri.

Per motivi di spazio non è possibile addentrarsi ul-

teriormente in queste pur interessanti curiosità storiche; le informazioni riferite dovrebbero però essere sufficienti a dare un'idea della *piattaforma di partenza* per meglio valutare l'orizzonte presente e futuro in questo campo della comunicazione.

Può essere solo aggiunto che, dopo queste prime esperienze, lo sviluppo della trasmissione facsimile si è avvalso di tutte le conquiste tecnologiche rese disponibili dalla ricerca tecnico-scientifica che hanno caratterizzato i successivi cento anni [1]; in tutto questo lungo periodo il fax, tuttavia, non è stato molto utilizzato.

Occorre arrivare agli anni settanta di questo secolo per cominciare a registrare considerevoli incrementi annui dei dispositivi fax, con punte del 30%, tendenza che si è ancora più accentuata negli anni '80. Con la definizione da parte del CCITT oggi ITU-TSS⁽¹⁾ delle normative internazionali per i fax numerici del Gruppo 3 e la successiva disponibilità di questi apparati sul mercato, si è osservato, per esempio negli anni 1987 e 1988, il raddoppio, in entrambi gli anni, delle apparecchiature installate.

Al fine di offrire una visione più ampia dei problemi e delle soluzioni per la qualità della trasmissione facsimile, nei paragrafi seguenti si descrivono le principali tecniche trasmissive dei terminali fax normalizzati in sede internazionale, esponendo con maggiori particolari quelle del fax di Gruppo 3, già citato, che è oggi quello di gran lunga più diffuso nel mondo.

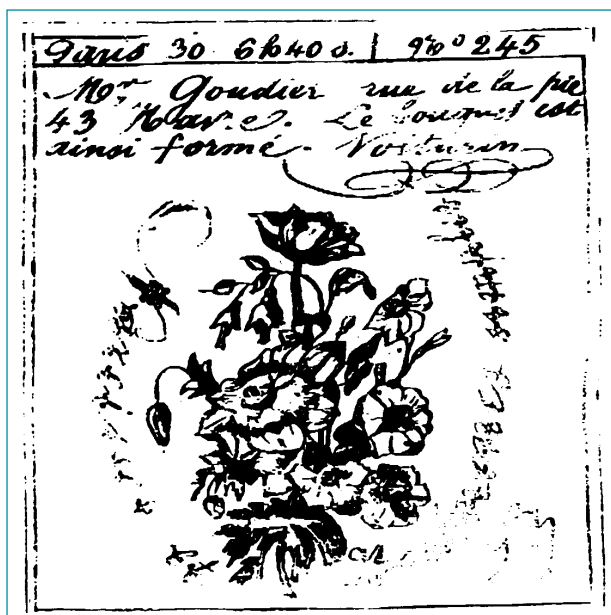


Figura 1

Copia fax ricevuta con la macchina pantelegrafica del 1861 (dal volume di Mc Connel, Bodson, Schaphorst [1]).

⁽¹⁾ CCITT: Comité Consultatif International pour la Téléphonie et la Télégraphie. ITU-TSS: International Telecommunication Union-Telecommunication Standardisation Sector. Nel seguito si indicherà tale ente con la denominazione oggi vigente.

2.2 I dispositivi fax normalizzati

Le Raccomandazioni dell'ITU-TSS classificano i terminali facsimile in quattro categorie o Gruppi: appartengono ai Gruppi 1 e 2 i fax di tipo analogico, ormai obsoleti e praticamente scomparsi dalla rete; appartengono ai Gruppi 3 e 4 i fax di tipo numerico.

Le definizioni dell'ITU-TSS per questi dispositivi sono contenute nelle Raccomandazioni elencate nell'Appendice "A"; le caratteristiche funzionali e le modalità operative delle apparecchiature di Gruppo 3 sono normalizzate, nel nostro paese, dalla Norma Tecnica n. 685 [2].

Il fax del Gruppo 4, che rappresenta, in questa categoria di apparati, il dispositivo più evoluto, è impiegato sulla rete *ISDN* (*Integrated Services Digital Network*) seppure in modo ancora non molto diffuso (si ricordi che l'esercizio su *Larga Scala* della rete *ISDN* è stato avviato in Italia in aprile 1994); le principali informazioni su questo tipo di fax sono riportate più avanti al punto 2.4.

Un interessante elemento per il confronto fra questi quattro tipi di fax, che mette bene in evidenza, al di là dell'evoluzione tecnologica che caratterizza ciascuno di essi, le prestazioni sensibilmente percepibili dall'utilizzatore, riguarda il tempo massimo di trasmissione per una pagina formato A4; la situazione è quella descritta dai seguenti valori:

- Gruppo 1: $T_{\max} = 6$ minuti
- Gruppo 2: $T_{\max} = 3$ minuti
- Gruppo 3: $T_{\max} = 1$ minuto
- Gruppo 4: $T_{\max} = 5$ secondi

I dispositivi del Gruppo 1 e quelli del Gruppo 2 utilizzano un sistema di scansione a tamburo rotante ed il segnale elettrico (analogico), prodotto dalla lettura del testo effettuata per mezzo di un sistema ottico e di un rivelatore fotosensibile, modula una portante: in frequenza nei fax del Gruppo 1, in ampiezza per quelli del Gruppo 2.

Come già si è accennato, questi tipi di fax, ormai obsoleti, non sono più disponibili in commercio e non sono più utilizzati in rete anche se sarebbe possibile, almeno per i fax del Gruppo 2, la compatibilità con quelli del Gruppo 3; si tralasciano, quindi, in questa sede, ulteriori approfondimenti sulle loro caratteristiche.

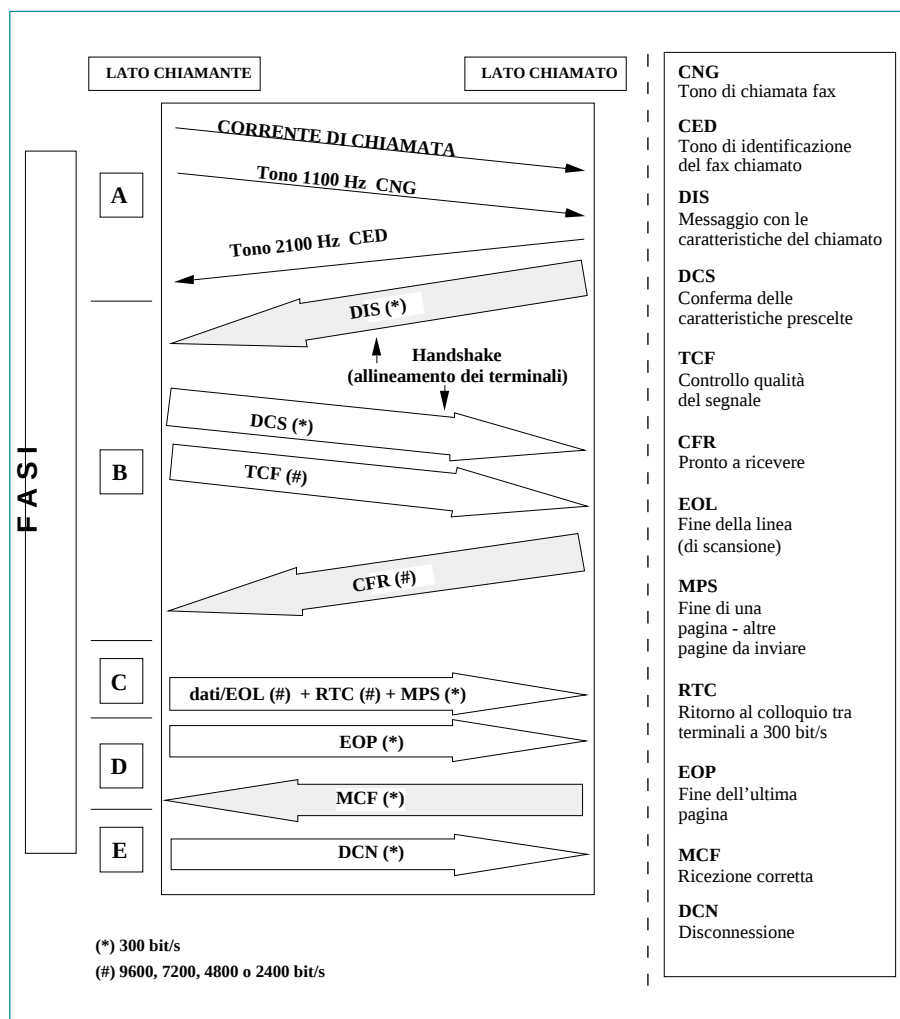


Figura 2 Protocollo di comunicazione per fax di Gruppo 3.

Il protocollo di comunicazione

2.3 Il fax del Gruppo 3

2.3.1 Fasi ed avviamento di una transazione fax

Le fasi che costituiscono la sequenza funzionale della comunicazione facsimile con apparati del Gruppo 3, sono state definite secondo le seguenti modalità:

- fase A = instaurazione della connessione;
- fase B = procedura di pre-messaggio;
- fase C = trasmissione del messaggio;
- fase D = procedura di post-messaggio;
- fase E = rilascio della connessione.

Nella fig. 2 è riportato uno schema grafico che riassume, per ciascuna delle suddette fasi, i segnali principali scambiati fra il terminale chiamante e quel-

lo chiamato, con il riferimento delle relative denominazioni e degli acronimi in uso.

Le procedure di instaurazione e di rilascio della connessione, non sono dissimili da quelle di una normale comunicazione telefonica, ma occorre precisare che dopo l'invio della selezione il terminale chiamante invia in linea un tono a 1100 Hz, della durata di 0,5 s, ripetuto ogni 3 s, fino alla risposta del terminale chiamato che, dopo un ritardo di un secondo, trasmette a ritroso verso il chiamante un ulteriore segnale tonale a 2100 Hz. Questo segnale, oltre ad informare il terminale dell'avvenuta risposta, comanda anche l'esclusione di soppressori o di cancellatori d'eco, eventualmente presenti sulla connessione stabilita; questo modo di funzionamento, tipico dei modem dati (il dispositivo fax usa modem normalizzati), garantisce la possibilità di trasmissione dati anche in *full-duplex*, benché la maggior parte dei fax di Gruppo 3 funzioni in modalità *half-duplex*.

La fase B, procedura di pre-messaggio, comprende il colloquio (*handshake*) fra i due terminali fax fra loro interconnessi, attraverso il quale essi si scambiano alcune informazioni che riguardano i rispettivi identificativi e le caratteristiche della trasmissione facsimile: le opzioni disponibili e le eventuali modalità *non-standard*, il formato della pagina, la velocità di trasmissione.

Questi tipi di colloquio, come altri simili che avvengono al termine della trasmissione di una pagina o dell'intero testo (fase D della procedura di post-messaggio) e che sono detti *di servizio*, si svolgono con velocità di trasmissione a 300 bit/s e con standard in accordo con la Racc. ITU-T V.21 ⁽²⁾; questa velocità non è quella alla quale è trasmesso il testo.

La determinazione della velocità alla quale sarà trasmesso il messaggio avviene, nell'ambito del colloquio suddetto, attraverso una procedura (*training*) che consente di misurare gli errori su un messaggio di prova trasmesso dal fax chiamante al chiamato: questa trasmissione avviene alla velocità più alta consentita dalle macchine connesse che, generalmente, è 9600 bit/s (modem secondo la Racc. V.29).

Se il risultato della misura non è quello atteso, la prova è ripetuta a velocità inferiore: sono possibili le velocità 7200 bit/s (Racc. V.29), 4800 e 2400 bit/s (Racc. V.27 ter).

La trasmissione del documento avviene alla velocità per la quale la misura degli errori ha dato un risultato compatibile con i limiti ammessi; più precisamente: la trasmissione del documento inizia con la

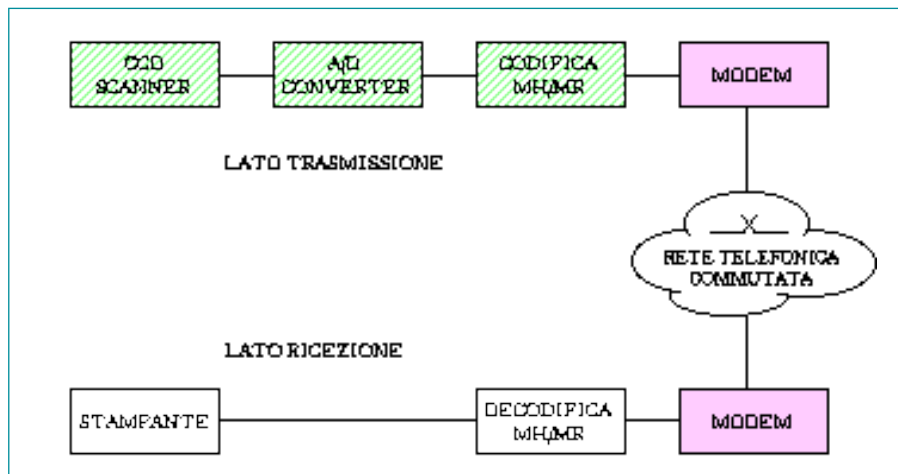


Figura 3 Schema funzionale di un fax di Gruppo 3.

velocità definita con la procedura di training ma è possibile che non tutte le pagine del documento siano trasmesse con quella velocità.

Al termine della trasmissione di ogni *linea di scansione* (più avanti questa sarà meglio definita), è trasmesso il messaggio di fine della linea *EOL* (*End Of Line*) la cui funzione è quella di assicurare la sincronizzazione fra trasmissione e ricezione e di permettere il controllo degli errori; da questi dipende la eventuale riduzione della velocità.

Può avvenire, perciò, ipotizzando una completa transazione fax, che la trasmissione di un testo composto di più pagine, inizi alla velocità di 9600 bit/s e termini alla velocità di 2400 bit/s.

Nel caso in cui anche alla velocità di 2400 bit/s gli errori rilevati siano in numero superiore alla soglia ammessa, la trasmissione è interrotta e la comunicazione abbattuta.

E' anche possibile, in via opzionale, trasmettere con modalità a correzione di errore *ECM* (*Error Correction Mode*), descritta al paragrafo 2.3.4 successivo: in questo caso la probabilità di trasmettere tutte le pagine alla velocità più elevata aumenta notevolmente.

I terminali più sofisticati includono anche la possibilità di trasmettere con le velocità di 12000 e 14400 bit/s (Racc. V.17) che, tuttavia, non sono previste dalla Racc. T.30.

2.3.2 Trasmissione del messaggio fax: codifiche Huffman e Read

La fase C (trasmissione del messaggio) è quella nella quale si esplica la funzione specifica della stessa apparecchiatura fax: la trasmissione di un testo scritto.

Essa si svolge attraverso i tre processi fondamentali già richiamati: lettura e codifica, trasmissione, decodifica e scrittura; la fig. 3 schematizza le funzioni previste da questi processi.

Il documento da trasmettere è analizzato in senso orizzontale lungo linee ben definite, ciascuna delle quali prende il nome di *linea di scansione*; i tre processi suddetti si susseguono in sequenza temporale e si ripetono per ogni linea di scansione.

⁽²⁾ Le Raccomandazioni della serie V per comunicazioni dati sulla rete telefonica sono contenute nel volume VIII - fascicolo VIII.1 (*Blue Book*).

Il tempo da assegnare per la scansione di ogni linea, è un parametro importante che le due macchine fax, tra loro connesse, definiscono nella fase di *training* ed è determinato dal tempo richiesto dal terminale ricevente per stampare una linea; questo tempo è detto "minimo tempo di scansione per linea" *MSLT* (*Minimum Scan Line Time*).

La risoluzione della scansione per i fax del Gruppo 3, è definita nella Racc. T.4 e, immaginando di suddividere l'intera pagina da trasmettere con una serie di linee orizzontali e con un'altra serie di linee verticali, risulta essere:

- per la scansione orizzontale:
8 linee (verticali)/mm;
- per la scansione verticale:
3,85 linee (orizzontali)/mm, per la risoluzione normale;
7,7 linee (orizzontali)/mm, per la risoluzione fine.

Esistono anche dispositivi che offrono, per la risoluzione verticale, una prestazione di 15,4 linee/mm, non prevista dalla Racc. T.4 (prestazione *non-standard*).

I parametri di scansione definiscono un insieme di punti (gli incroci delle linee orizzontali e verticali sopra definite) che rappresentano i *punti sorgente* del messaggio da trasmettere; essi, infatti, sono caratterizzati dall'essere bianchi o neri in ragione della loro collocazione sul testo da trasmettere e la loro sequenza, temporalmente ordinata, costituisce già una sequenza binaria.

Nella nomenclatura internazionale, questi punti sono chiamati *pel* (*picture elements*) o *pixel* (contraendo *picture* in *pix*).

Il dispositivo in grado di leggere i pixel è un sensore optoelettronico denominato *CCD* (*Charge Coupled Device*) che contiene 1728 elementi capaci di rilevare lo stato dei pixel allineati su una linea di scansione orizzontale; ogni elemento è attivato da una radiazione luminosa che riflette lo stato del relativo pixel opportunamente illuminato (radiazione intensa per il bianco, attenuata per il nero), producendo, ciascuno in modo indipendente, un flusso di cariche alle quali è possibile associare un segnale elettrico che descrive, quindi, lo stato dei punti suddetti.

Campionando temporalmente questi segnali in associazione ad una conversione analogico/digitale, si rende disponibile, per ciascuna linea di scansione, una sequenza numerica 1/0 perfettamente corrispondente alla sequenza binaria *bianco/nero* sopra richiamata; i bit di questa sequenza potranno essere, al massimo, 1728.

In linea di principio, questo segnale potrebbe essere già trasmesso così al fax ricevente modulando la portante di un modem, ma, per le risoluzioni che sono state definite, ciò comporterebbe tempi di trasmissione particolarmente lunghi: infatti la densità di pixel da trasmettere è pari a 30,8 pixel/mm², o pari a 61,6 pixel/mm² nel caso di risoluzione fine. Per trasmettere un foglio formato ISO-A4 (210x297 mm), quindi, si devono trasmettere, rispettivamente, quasi 2 Mbit o quasi 4 Mbit; ipotizzando di trasmettere alla velocità più alta fra quelle previste dalla Racc. T.30 (9600 bit/s), i tempi necessari risulterebbero, rispettivamente, 3,5 minuti o 7 minuti.

Tempi così lunghi (tenendo conto che la risoluzione

fine è quasi sempre quella utilizzata), oltre a rappresentare un limite significativo relativamente ad uno degli aspetti che caratterizzano la qualità della trasmissione facsimile, non sarebbero compatibili con una appropriata strategia mirata allo sviluppo del traffico fax che sottende, per questo, un'esigenza primaria: trasferire documenti scritti a basso costo e, quindi, tenere impegnate le linee telefoniche il minor tempo possibile.

Per queste ragioni è stata introdotta sul segnale numerico generato come sopra descritto, una codifica di compressione che riduce i bit da trasmettere per ogni linea di scansione lasciando naturalmente inalterato il contenuto informativo.

Questa codifica utilizza due algoritmi: uno monodimensionale detto codifica "Huffman modificata" *MH* (*Modified Huffman*); l'altra bidimensionale detta codifica "READ modificata" *MR* (*Modified RElative Addressing*).

Rimandando alla bibliografia specializzata [3] i dettagli di queste codifiche, è sufficiente sintetizzare, qui, i concetti di base su cui esse si fondano.

Il codice *MH* si basa su un'osservazione molto semplice: in una linea di scansione su un testo scritto si può notare che un pixel bianco è frequentemente seguito da altri pixel bianchi prima di raggiungere un pixel nero; negli spazi di interlinea, addirittura, la scansione rivela un'intera sequenza di *bianchi*.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per i pixel neri.

Se, allora, si associano appropriate *parole* numeriche alle sequenze di lunghezza variabile dei *bianchi* ed altre a quelle dei *neri*, si ottiene una codifica che produce una significativa compressione dei bit da trasmettere rispetto ai 1728 generati per ogni linea di scansione.

La codifica di Huffman raggruppa tutte le possibili sequenze, di lunghezza variabile da 0 a 1728 pixel, in 27 sequenze di lunghezze multiple di 64, assegnando a ciascuna una specifica parola di codice (codice di *make-up*); assegna poi altre specifiche parole alle sequenze da 0 a 63 (codice di *terminazione*) in modo da coprire tutto il campo richiesto.

Per esempio: una sequenza di 7 bianchi è codificata 1111 (codice di terminazione); una sequenza di 128 bianchi è codificata 10011 (codice di *make-up*).

Ne segue che una sequenza di 135 bianchi (128+7) è codificata con 10011 1111 ottenendo, in questo caso, un rapporto di compressione pari a 135/9 = 15.

I rapporti di compressione sono molto variabili in ragione delle lunghezze delle varie sequenze e raggiungono anche valori molto più alti di quello presentato nell'esempio: una linea bianca che attraversi l'intera pagina interessando tutti i 1728 pixel, è codificata con una parola di 9 bit ottenendo un rapporto pari a 1728/9 = 192.

Nella tab. 1 è riportata una parte dei codici di Huffman: appare evidente come le varie parole di codice siano di lunghezza molto diversa fra loro: le parole più corte sono state associate alle sequenze che, statisticamente, ricorrono più spesso.

Un principio analogo era già stato usato da Morse nel 1844 per associare, nel suo alfabeto, le combinazioni *punto-linea* più brevi alle lettere statisticamente più ricorrenti.

Lunghezza di pixel "bianchi"	Parola di codice	Lunghezza di pixel "neri"	Parola di codice
0	00110101	0	0000110111
1	000111	1	010
2	0111	2	11
3	1000	3	10
4	1011	4	011
5	1100	5	0011
6	1110	6	0010
7	1111	7	00011
8	10011	8	000101
9	10100	9	000100
10	00111	10	0000100
11	01000	11	0000101
12	001000	12	0000111
13	000011	13	00000100
14	110100	14	00000111
15	110101	15	000011000
16	101010	16	0000010111
17	101011	17	0000011000
18	0100111	18	0000001000
19	0001100	19	00001100111
20	0001000	20	00001101000
21	0010111	21	00001101100
22	0000011	22	00000110111
23	0000100	23	00000101000
24	0101000	24	00000010111
25	0101011	25	00000011000
26	0010011	26	000011001010
27	0100100	27	000011001011
28	0011000	28	000011001100
29	00000010	29	000011001101
30	00000011	30	000001101000
31	00011010	31	000001101001
32	00011011	32	000001101010
33	00010010	33	000001101011

Tabella 1 Esempio di Codici di terminazione nella codifica Huffman.

Un'ulteriore compressione dei bit da trasmettere avviene attraverso la codifica Read, nella quale, facendo riferimento ad una linea codificata Huffman, si codificano e si trasmettono solo le variazioni rispetto a questa.

Usando questo algoritmo potrebbe accadere che un errore (modifica del significato binario di un simbolo) introdotto dal canale trasmissivo nel messaggio corrispondente ad una linea di scansione, venga replicato in ricezione su tutte le linee successive; per evitare questo inconveniente si trasmette periodicamente una linea con codifica Huffman, e si definisce *fattore k* il numero di linee compreso fra una linea Huffman e la successiva.

Nei fax del Gruppo 3 si trova $k=2$ nella risoluzione normale (1 linea Huffman ogni 2) e $k=4$ (1 linea Huffman ogni 4), nella risoluzione fine.

Sul fax ricevente il processo di decodifica restitui-

sce la sequenza numerica originaria pari ad un numero massimo di 1728 bit per ogni linea di scansione.

Il messaggio attiva il dispositivo di scrittura generalmente costituito da una testina con 1728 elementi per stampante termica; sono oggi disponibili anche stampanti di tipo elettrostatico (secondo la tecnica della fotocopiatrice) e, nei fax migliori, stampanti laser.

2.3.3 Fasi finali di una transazione facsimile

Le fasi finali di una transazione facsimile sono, tipicamente, le fasi D ed E.

La procedura di post-messaggio (fase D) è attivata dal terminale chiamante al termine della trasmissione di ogni pagina mediante l'invio del messaggio *RTC* (*Return To Control*), costituito da sei messaggi contigui di EOL, che invita il terminale chiamato a ritornare alla fase di controllo (colloquio di servizio a 300 bit/s). Questa procedura include l'eventuale messaggio *MPS* (*Multi-Page Signal*), per indicare che ulteriori pagine saranno trasmesse, ed il controllo degli errori sul segnale decodificato corrispondente ad ogni linea di scansione (la somma dei simboli deve essere pari a 1728), selezionando ogni linea attraverso i messaggi di EOL. Nel caso di esito positivo delle verifiche, il chiamato trasmette al chiamante il messaggio di conferma *MCF* (*Message Confirmation*) che riattiva la fase C per la trasmissione della pagina

successiva; altrimenti, se il numero degli errori rilevati è elevato, il chiamato trasmette uno dei seguenti messaggi per invitare il chiamante ad abbassare la velocità di trasmissione: *RTP* (*ReTrain Positive*), se il numero degli errori supera una soglia definita di primo livello, o *RTN* (*ReTrain Negative*) se è stata superata la soglia, più severa, di secondo livello. Questa seconda segnalazione contiene anche l'informazione che la qualità dell'immagine della pagina ricevuta è molto deteriorata; alcuni terminali possono essere predisposti per procedere alla disconnessione quando è rilevato questo messaggio.

Al termine della trasmissione dell'ultima pagina il messaggio di fine procedura *EOP* (*End Of Procedure*), informa il terminale ricevente che la transazione facsimile è conclusa.

In questo caso il messaggio MCF abilita la fase E nella quale avviene la disconnessione di entrambi i terminali dalla rete telefonica.

2.3.4 Modalità di trasmissione a Correzione di Errore

E' prevista una modalità opzionale per la trasmissione di transazioni facsimile denominata *ECM (Error Correction Mode)*, ovvero *Modalità a Correzione di Errore*: essa è basata su una tecnica di *richiesta automatica* di ripetizione del messaggio che consente di ottenere in ricezione, a parità di caratteristiche del canale trasmissivo, una qualità della copia sensibilmente migliore rispetto a quella ottenibile in modalità standard (non a correzione di errore).

Utilizzando questa modalità una pagina facsimile è suddivisa in *pagine parziali* costituite da 256 trame, contenenti i dati informativi, più tre trame di *controllo* necessarie ad indicare la fine della pagina parziale.

Nella struttura della trama con cui i messaggi sono trasmessi è previsto un campo per l'etichetta ed un campo per il controllo degli errori. Quando una o più trame sono riconosciute errate dal terminale chiamato, questo invia al terminale chiamante una richiesta di ritrasmissione della pagina parziale mediante il messaggio *PPR (Partial Page Request)* segnalando esattamente, mediante indicazione delle etichette associate, le trame da ritrasmettere.

Il terminale chiamante ritrasmette le pagine parziali richieste, e nel caso in cui riceva il messaggio *PPR* relativamente ad una identica pagina parziale per quattro volte consecutive, trasmette, in base alle modalità con cui è stato predisposto, uno dei seguenti messaggi: il messaggio *CTC (Continue To Correct)* per continuare i tentativi di correzione (decidendo, eventualmente, di abbassare la velocità di trasmissione), oppure il messaggio *EOR (End Of Retransmission)* per terminare la ritrasmissione e passare alle successive pagine. Le ritrasmissioni e lo scambio dei messaggi di protocollo con cui esse sono gestite implicano un tempo aggiuntivo a quello necessario per una trasmissione in assenza di errori e, quindi, pur considerando che in modalità *ECM* la probabilità di riduzione della velocità di trasmissione è più bassa rispetto al caso di modalità non-*ECM*, la durata globale delle transazioni del primo tipo è generalmente più lunga di quella delle transazioni del secondo tipo.

La qualità della copia facsimile ricevuta, tuttavia, risulta sensibilmente migliore in modalità *ECM*.

2.4 Il fax del Gruppo 4

La vastità degli argomenti che interessano questa apparecchiatura non consente, in questo contesto, una loro esauriente trattazione; le nozioni di seguito riportate, tuttavia, dovrebbero permettere al lettore di disporre di una conoscenza sufficientemente completa degli aspetti inerenti la trasmissione facsimile, mentre sarebbero necessarie ulteriori informazioni per avere un quadro esauritivo delle altre applicazioni consentite da questo apparato (ad esempio la posta elettronica).

Le attività in ambito ITU-TSS, per la definizione delle caratteristiche del fax di Gruppo 4, hanno avuto inizio nel 1984 e le relative Raccomandazioni sono state sviluppate nell'architettura del modello ISO-OSI, risultando fra le prime ad utilizzare questo modello di riferimento che divenne standard internazio-

nale (IS 7498) nell'Ottobre 1984 (i relativi lavori di specificazione erano iniziati nel 1977).

Il modello per l'interconnessione di sistemi aperti *OSI (Open Systems Interconnection)*, sviluppato nell'ambito dell'organizzazione per la normalizzazione internazionale *ISO (International Standardization Organization)*, ha la funzione fondamentale di offrire una ben definita struttura, caratterizzata da sette livelli o strati, nella quale inserire definizioni, protocolli, Raccomandazioni. Questa struttura è in grado di rendere compatibili, per comunicare perfettamente fra loro, i vari sistemi distribuiti nell'intera rete mondiale e prodotti da Costruttori diversi: computers e terminali, sistemi di posta elettronica, fax del Gruppo 4 e, in generale, qualunque dispositivo che genera e gestisce processi applicativi per dati.

Un sistema specificato secondo l'architettura *OSI* è chiamato *sistema aperto (Open System)* ed i suoi processi applicativi di comunicazione sono distribuiti nei sette strati del modello: ogni strato riguarda aspetti specifici della comunicazione.

Nell'elenco delle Raccomandazioni per la trasmissione facsimile riportato in Appendice A, sono comprese quelle che interessano gli apparati fax del Gruppo 4; queste ultime riflettono un aspetto tipico del modello *OSI*: alcune Raccomandazioni sono proprie della comunicazione facsimile, altre riguardano processi più generali per il trattamento ed il trasporto di dati, che in questo caso sono utilizzati sul fax del Gruppo 4 (si vedano le Racc. T.70, T.72, e quelle della serie T.400).

Questa caratteristica del modello rende il fax del Gruppo 4 un sistema aperto a comunicare con altre tipologie di sistemi, quali quelli poco sopra accennati (ad esempio Personal Computers, posta elettronica).

Secondo il modello *OSI*, il servizio fax del Gruppo 4 può essere offerto, oltre che sulle reti specializzate per dati, anche sulla normale rete telefonica *PSTN (Public Switched Telephone Network)*, ma, in proposito, sono necessarie talune precisazioni.

Il trasferimento dell'informazione sulla *PSTN* richiederebbe, per la gestione dei protocolli *OSI*, l'uso esteso su di essa della segnalazione a canale comune normalizzata per l'*ISDN*, denominata *ISUP (ISDN User Path)*; per il fax, inoltre, occorrerebbe disporre di modem ad alta velocità e con elevate prestazioni (sono oggi disponibili sul mercato modem con velocità fino a 33,6 kbit/s, secondo la Racc. V.34).

Questo impiego dei terminali fax di Gruppo 4 conferirebbe ad essi maggiore flessibilità d'uso, ma "mortificherebbe" la piena potenzialità del sistema in termini di velocità di trasmissione che, per il fax del Gruppo 4, è pari a 64 kbit/s; non dovrebbero peraltro essere trascurati i problemi della rete di accesso analogica (dalla sede d'utente alla centrale), che potrebbero condizionare negativamente la qualità del servizio.

Per questi motivi, l'impiego del fax di Gruppo 4 è riservato, almeno nella realtà italiana, alla rete *ISDN* che è in grado di offrire, fino alla sede d'utente, l'accesso base a 64 kbit/s.

Le principali caratteristiche funzionali di questo tipo di fax, si possono sintetizzare nel modo che segue.

Risoluzione della scansione: il processo di scansione è analogo a quello presente sui fax di Gruppo 3; la re-

lativa risoluzione è espressa in linee/pollice ed è simmetrica, ovvero è analizzato lo stesso numero di linee in senso orizzontale ed in senso verticale. Possono essere predisposte le seguenti risoluzioni:

- 200x200 linee/pollice, pari a 7,7 linee/mm (coincidente con la risoluzione *fine* del fax di Gruppo 3);
- 300x300 linee/pollice, pari a 11,6 linee/mm;
- 400x400 linee/pollice, pari a 15,4 linee/mm.

Dai valori indicati per la risoluzione, si deduce che la qualità della copia ottenuta in una transazione fax fra macchine di Gruppo 4, a meno di errori sulla rete trasmissiva, risulta particolarmente buona.

La risoluzione più bassa è quella che automaticamente si predispone all'attivazione del fax (condizione detta di *default*) ed è anche quella utilizzata per le transazioni verso terminali di Gruppo 3; in questi casi, il terminale fax di Gruppo 4 riconosce se il corrispondente chiamato è una macchina del Gruppo 3 e, automaticamente, si adegua alle sue caratteristiche funzionali.

Codifica del messaggio: la Raccomandazione T.6 definisce lo schema di codifica per la trasmissione del messaggio nei fax di Gruppo 4; è utilizzato il codice bidimensionale tipo Read dei fax di Gruppo 3, in una versione modificata e più efficiente: in questo caso il codice è denominato *MMR (Modified - Modified Read)*.

La migliore efficienza rispetto al Gruppo 3 è da intendersi in termini di compressione introdotta nelle sequenze di bit generate per ogni linea di scansione; data l'elevata risoluzione che è possibile avere nei fax di Gruppo 4, queste sequenze sono, generalmente, molto più lunghe delle analoghe del Gruppo 3 a parità di testo da trasmettere: da qui l'opportunità di una maggiore compressione.

Nel processo di codifica MMR, in una linea di scansione, è codificato il cambiamento del pixel rispetto ad un corrispondente elemento di riferimento posizionato sulla linea di scansione immediatamente precedente; quando la linea è codificata, essa diviene la linea di riferimento per quella successiva. Per la codifica della prima linea di un documento, la linea di riferimento è un'immaginaria linea bianca.

A differenza di quanto accade nella codifica per i fax di Gruppo 3, in questo caso non è mai intercalata una linea con codifica Huffman (MH) e quindi il fattore K è pari a *infinito*; il minimo tempo di scansione per linea (MSLT), inoltre, tende a *zero* secondi.

L'uso della codifica MMR e la possibilità di trasmettere alla velocità di 64 kbit/s permettono di trasferire, fra macchine di Gruppo 4, una pagina formato A4 in un tempo massimo di 5 s.

Le prestazioni di questo apparato includono:

- elevate capacità di memoria (può tenere in memoria, sia lato trasmissione, sia lato ricezione, fino a 60 pagine);
- la gestione di servizi quali il *multifax* (detto anche *multiaddress*), ed il *store-and-forward* (*memorizzazione ed inoltrare*) che riguardano, rispettivamente, la trasmissione di documenti in modo circolare a vari indirizzi, e la trasmissione di documenti in ore e date prestabilite, previa memorizzazione;
- l'accesso ai documenti da trasferire, per consentire la loro composizione (*formattazione*), con la possi-

bilità di integrare testi e grafici, nonché di effettuare vari tipi di analisi sui grafici stessi;

- le funzionalità, molto avanzate, dei sistemi di posta elettronica.

Queste caratteristiche rendono il fax di Gruppo 4 un dispositivo molto evoluto, sia per gli aspetti tecnologici, sia per le sue applicazioni; in relazione all'impiego, esso risulta poco conveniente, in termini di costo, per le comunicazioni tipo *person-to-person*, ma molto versatile e potente come elemento integrato nei sistemi di comunicazione, quali le reti per servizi dati controllate da computer.

Gli sviluppi di questo tipo di terminale fax (gli studi relativi sono ancora in corso se pure in fase molto avanzata), sono orientati alla trasmissione di documenti a immagine bidimensionale (figure a rilievo), a immagine in bianco e nero con la graduazione dei *grigi*, ed, infine, alla trasmissione di documenti a colori.

3. La qualità della trasmissione facsimile

3.1 Alcune considerazioni sul traffico facsimile

Il traffico facsimile è in continuo aumento. L'indicatore di traffico fax *FTI (Fax Traffic Index)*, definito con il rapporto N_f/N , esprime, percentualmente, quanto pesano le transazioni facsimile (N_f), osservate su una specificata direttrice per un determinato periodo di tempo, rispetto al numero totale delle comunicazioni (N) osservate sulla stessa direttrice e nello stesso periodo di tempo.

I valori di questo parametro non sono stati ancora ottenuti sistematicamente sulla rete italiana, in quanto solo oggi la disponibilità di idonei sistemi di misura, può consentirne la rilevazione.

Talune stime, tuttavia, effettuate sulla base di osservazioni sugli autocommutatori numerici delle centrali internazionali, indicano che il parametro FTI, per certe direttrici intercontinentali ed in particolari periodi del giorno, raggiunge punte del 70-75 per cento.

Il dato non sorprende se si pensa che trasferire un documento scritto, in tempo reale, verso un corrispondente di un Paese estero, è oggi un'operazione a basso costo, effettuabile anche fuori dell'orario di lavoro, in assenza dell'altro interlocutore, e che supera brillantemente i problemi di comunicazione linguistica.

D'altra parte, lo stesso vertiginoso incremento dei terminali fax nel mondo intero, spiega il sensibile incremento di traffico sulla rete telefonica specializzata alla comunicazione facsimile: si stima che dai 14 milioni di fax alla fine degli anni '80, si è passati ad oltre 50 milioni di terminali attualmente attivi, senza includervi le cosiddette *scheda fax* con le quali si possono equipaggiare i PC ⁽³⁾.

(3) Il dato qui riportato, tenuto conto della diffusione molto spinta dei terminali fax in alcuni paesi (ad esempio negli Stati Uniti d'America ed in Gran Bretagna) e della difficoltà a censire i numerosi prodotti di questo tipo resi disponibili sul mercato grazie alla deregolamentazione, è probabilmente una stima per difetto del numero reale di terminali fax; tale valore dà comunque un'idea dell'elevato traffico facsimile generato sulla rete telefonica commutata a livello mondiale.

I CLIENTI DIVENTANO SEMPRE PIU' ESIGENTI

- Le comunicazioni facsimile assumono oggi un ruolo di rilievo in molte attività del mondo economico-commerciale e nella pubblica amministrazione; nella legislazione italiana, inoltre, un'apposita legge (legge n. 183/93), riconosce validità giuridica agli atti e documenti legali trasmessi via fax.
- Sulle direttrici internazionali, il parametro *FTI (Fax Traffic Index)* assume livelli elevati (10-20 per cento) raggiungendo su alcuni fasci intercontinentali ed in alcune ore del giorno, punte del 70-75 per cento.
- In questo contesto è importante disporre di mezzi che consentano di controllare con continuità la qualità delle comunicazioni facsimile.

Per quanto riguarda la situazione in Italia, pur mancando un dato numerico aggiornato relativamente al numero dei fax installati e funzionanti, si può ritenere che la situazione sia la seguente:

- tutti i clienti classificati *affari* dispongono di almeno un dispositivo fax connesso su una linea d'utente;
- altri importanti clienti, quali quelli appartenenti alla pubblica amministrazione, al settore sanitario, alle scuole, usano diffusamente il servizio facsimile;
- i clienti *privati* sono sempre più interessati al fax e ad essi è offerta una versione *personale* (fax di fascia bassa), adatta ad ambienti domestici.

Un ultimo elemento, infine, che sottolinea ancor più l'importanza acquisita da questo particolare tipo di comunicazione, è la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale del 14 Giugno 1993 [4], della Legge n. 183 che riconosce piena validità agli atti e documenti legali trasmessi via fax.

Dalle suddette considerazioni si può desumere che il numero di terminali fax operanti nel nostro paese è di qualche milione.

Nel contesto delineato, appare quindi di fondamentale importanza il controllo della qualità delle comunicazioni facsimile, per le quali si possono così riassumere gli aspetti salienti che giustificano le varie iniziative in proposito condotte:

- il servizio facsimile è un servizio *a valore aggiunto*: aggiunge, rispetto alla modalità in fonia, l'informazione legata a tutto ciò che si esprime attraverso *grafia*;
- la trasmissione del messaggio facsimile è una trasmissione dati per la quale la rete TLC deve offrire un livello di qualità adeguato, mantenendo almeno quello ottenibile (e che è sufficiente) dalle attuali strutture: la trasmissione facsimile, infatti, è una particolare trasmissione dati, non in termini di funzionalità tecnica (il modem impiegato in un'apparecchiatura facsimile risponde, come si è già detto, alla stessa caratterizzazione normativa di quelli utilizzati in altre applicazioni), bensì in termini di effetti sulla soddisfazione dell'utilizzatore, poiché la *non qualità* della rete si manifesta in modo particolarmente evidente sul risultato della transazione, immediatamente percepito dal cliente;
- il traffico facsimile, infine, è essenzialmente un traffico *affari*.

I primi approcci al problema della qualità della trasmissione facsimile

3.2 Le attività condotte sulla rete italiana

Sulla base di queste considerazioni, agli inizi degli anni novanta, i Gestori delle reti di telecomunicazione affrontarono il problema del controllo della qualità della trasmissione facsimile.

Il termine *problema* non è casuale: si doveva, infatti, individuare un nuovo modo di valutare e misurare la qualità di un servizio offerto sulla rete telefonica, ma non più riconducibile a quelli che tradizionalmente la utilizzano.

Non esistevano termini o modelli di riferimento e tuttavia si dovevano necessariamente definire gli elementi fondamentali di questo controllo; era necessario, cioè, definire:

- parametri idonei a descrivere la qualità di una completa transazione facsimile;
- appropriati metodi di misura;
- obiettivi di riferimento.

Le attività condotte riguardo a queste problematiche hanno avuto una significativa rilevanza anche in Italia, nell'ambito delle strutture aziendali antecedenti la formazione di Telecom (SIP, Italcable, ASST poi Iritel): in particolare, furono condotte campagne di misura con il duplice scopo di caratterizzare la comunicazione facsimile ai fini della qualità e di individuare le possibili relazioni fra questa e le prestazioni di rete, in modo da determinare quanto ed in che misura la qualità del servizio dipende dalla qualità della rete.

Le campagne furono condotte prevalentemente sulla tratta nazionale delle relazioni internazionali [5] [6] [7], sia perché su queste erano già emersi rilevanti interessi di traffico facsimile, sia per soddisfare programmi di collaborazione con alcuni Gestori esteri, in particolare AT&T e BT, con i quali, nell'ambito di specifici accordi per il miglioramento della Qualità del Servizio, erano state congiuntamente avviate indagini sulla rete riguardo al traffico facsimile.

Le campagne effettuate in questi primi approcci intesi a misurare la qualità della comunicazione facsimile, erano condotte in regime di traffico artificiale e con analisi manuale.

Per ciascuna connessione facsimile realizzata mediante una specifica chiamata (e queste erano effettuate in numero statisticamente significativo), veniva trasmesso un testo di prova (uno o più fogli), registrando il comportamento del fax in tutte le sue fasi funzionali; era poi analizzata la qualità delle copie fax ricevute, osservando le difettosità presenti su di esse ed assegnando una valutazione in base a regole stabilite.

Pur con tutte le difficoltà legate a questa metodologia di valutazione, queste prove hanno portato alla individuazione di fattori da controllare per descrivere la qualità della transazione facsimile ed anche alla conoscenza delle relazioni attinenti alla loro dipendenza dalle caratteristiche trasmissive della rete.

Fin dalle prime campagne di misura, era chiaramente emerso che questi fattori possono essere direttamente derivabili dal funzionamento delle stesse macchine fax collegate in rete, e dall'osservazione della copia del testo ottenuta con la transazione.

I parametri di qualità che tutti i Gestori preliminarmente adottarono sulla base di questi risultati, seppure con qualche differenziazione ed in attesa della loro definizione in sede ITU-TSS, facevano riferimento ai seguenti aspetti della transazione facsimile:

- il regolare svolgimento di tutte le fasi funzionali (comunicazioni completate o comunicazioni interrotte);
- la velocità a cui viene trasmesso il messaggio facsimile;
- la qualità della copia ottenuta che, nel linguaggio corrente, è chiamata *qualità dell'immagine*.

Per le attività condotte sulla rete italiana, a cui qui si fa riferimento, la descrizione della qualità per la copia ottenuta dalla transazione facsimile, utilizzava la proposta AT&T che classificava la copia in tre categorie:

- libera da errori *EF (Error Free)*;
- accettabile *AC (Acceptable)*;
- inaccettabile *NA (Not Acceptable)*.

La qualità della copia era ricavata dalla presenza di difettosità (errori) osservabili sulla pagina e con le quali erano definiti due tipi di errori:

- *errore minore*: presenza di errori su un massimo di 3 linee, anche se consecutive;
- *errore maggiore*: presenza di errori su più di 3 linee, anche se non consecutive.

I criteri di valutazione da applicare, sulla base di queste definizioni, per le tre categorie suddette, erano i seguenti:

- *libera da errori*: nessun errore, né minore, né maggiore;
- *accettabile*: nessun errore maggiore, meno di 3 errori minori;
- *inaccettabile*: uno o più errori maggiori, 3 o più errori minori.

Questi criteri di valutazione nelle campagne di misura sopra ricordate, per le quali, come già accennato, l'analisi dei risultati avveniva in modo manuale, non erano direttamente applicabili in quanto il controllo di qualità consisteva, in pratica, in un'osservazione vi-

Figura 4 Foglio di prova utilizzato nelle campagne di misura per la qualità delle trasmissioni facsimile.

siva della qualità della copia ottenuta.

In una trasmissione facsimile, infatti, il concetto di *linea* è da associare tecnicamente alla *linea di scansione*, ma gli eventuali errori in essa contenuti, sono rilevabili solo attraverso apposite strumentazioni, non ancora disponibili nel periodo in cui furono svolte queste indagini.

Fu dunque necessario associare al concetto di *linea con errori*, quello di *riga deturpata da errori*, ovvero deterioramento osservabile su una riga di un testo scritto o di una figura.

Per permettere di individuare meglio questi deterioramenti, anche dove risultano assenti i segni grafici del testo o della figura (per esempio, negli spazi interlinea), il foglio di prova utilizzato, riportato nella fig. 4, presentava una linea ben marcata lungo una diagonale del foglio stesso.

Il metodo di valutazione adottato, se da un lato risultava di tipo empirico, dall'altro era strettamente legato alla percezione dell'utente e traeva la sua validità proprio da questo aspetto.

Le misure e le analisi condotte con queste metodologie hanno permesso di comprendere molti aspetti della qualità di una comunicazione facsimile e di arrivare alla definizione di un *modello di valutazione* che mette in relazione i parametri della qualità trasmissiva della rete, con la qualità delle transazioni facsimile.

L'ATTENZIONE DI TELECOM ITALIA ALLA QUALITÀ DEL FAX

- Attraverso numerose indagini, condotte soprattutto con campagne di misura su comunicazioni fax in regime di traffico artificiale, i "parametri di qualità" per la trasmissione facsimile sono stati individuati facendo riferimento al regolare svolgimento delle fasi funzionali della transazione, alla velocità di trasmissione del messaggio facsimile ed alla qualità della copia ottenuta ("qualità dell'immagine").
- La "qualità della comunicazione facsimile" è funzione della "qualità della rete" che consente la relativa transazione; la misura dei parametri che caratterizzano la qualità trasmissiva di una specifica relazione permette di valutare, in termini statistici, la qualità delle comunicazioni fax instradate su quella relazione. Il passaggio può essere ottenuto da un "modello di valutazione" originale ricavato dalle indagini condotte in Telecom Italia.
- Dalla misura della qualità della comunicazione facsimile è possibile, viceversa, valutare alcuni parametri caratterizzanti la qualità trasmissiva della rete.

3.3 Un modello di valutazione

Nel contesto precedentemente descritto, l'esigenza di controllare adeguatamente la qualità della trasmissione facsimile trovava difficoltà ad essere soddisfatta in quanto non erano ancora disponibili gli attuali sistemi automatici di monitoraggio e le misure di qualità, eseguite su traffico artificiale, presentavano notevoli difficoltà operative, soprattutto nella fase di analisi (manuale) dei risultati.

Erano già disponibili in Telecom, invece, sistemi automatici di misura quali, ad esempio, il sistema automatico per la valutazione delle prestazioni di rete *ASPEN* (*Automatic System Performance Evaluation Network*) o il sistema per il controllo di reti per dati denominato *DNC* (*Data Network Control*), che consentivano di caratterizzare le prestazioni di rete inerenti la qualità trasmissiva; da qui si fece strada l'idea di individuare le relazioni esistenti fra le prestazioni della rete e la qualità di una comunicazione facsimile su di es-

sa instradata, al fine di correlare, attraverso un appropriato modello, questa qualità a quelle prestazioni.

Da una prima indagine effettuata a tale scopo [8], si ricavarono i dati necessari a formulare un primo modello di valutazione per la qualità della trasmissione facsimile; successivamente il modello è stato affinato con i dati resi disponibili dalle campagne di misura sulla qualità trasmissiva della rete e predisposto in una formulazione meglio utilizzabile.

Le conoscenze acquisite con le ricerche svolte, hanno confermato le ipotesi poste alla base per la deduzione del modello; esse possono essere riassunte nel modo che segue.

E' stato osservato, anzitutto, che di tutti i parametri trasmissivi che caratterizzano un collegamento, solo una parte ha un impatto decisivo sulla qualità del fax trasmesso su di esso, mentre altri parametri producono effetti del tutto marginali.

Il jitter, ad esempio, ha una influenza trascurabile: perché esso riesca ad alterare la trasmissione facsimile fino a produrre effetti significativi sulla sua qualità, dovrebbe avere profondità e frequenze di modulazione secondo il diagramma di fig. 5, ovvero corrispondenti a valori normalmente non riscontrabili sulle interfacce analogiche della rete attuale.

Anche l'eco, in condizioni normali, non pregiudica la qualità del fax, e la risposta del terminale chiamato, costituita da un segnale monocromatico alla frequenza di 2100 Hz, esclude l'eventuale presenza di cancellatori o di soppressori d'eco inseriti sul collegamento nel caso di comunicazioni su lunghe distanze (Raccomandazione ITU-T G.164, Volume III - fascicolo III.1, Blue Book).

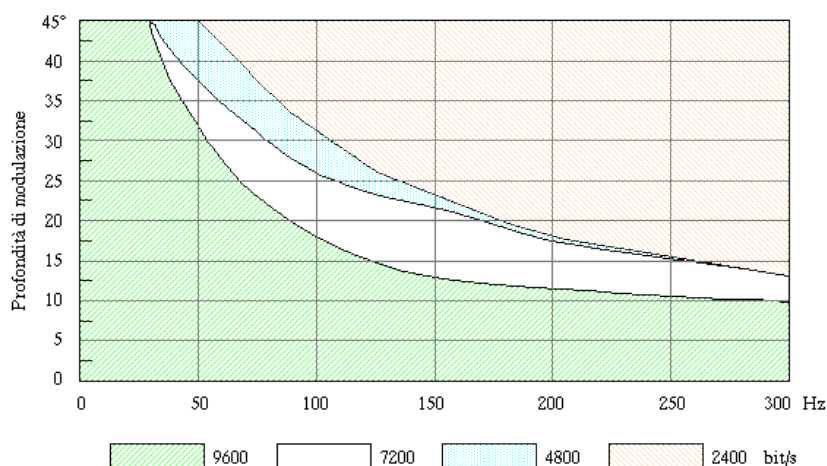


Figura 5

Variazione della velocità di trasmissione del fax in funzione della frequenza e della profondità di modulazione del jitter.

Si è osservato, tuttavia, che in presenza di eco a livelli particolarmente elevati, può risultare alterata la sequenza nella ricezione dei messaggi scambiati fra le due macchine fax nelle fasi preliminari di *handshake* e *training* e nei messaggi di conferma a fine pagina: in queste condizioni si può determinare la disconnessione delle macchine con conseguente caduta del collegamento. Una tale dinamica, tuttavia, è da associare a situazioni anomale di rete⁽⁴⁾.

I parametri, invece, che hanno un effetto rilevante sui risultati della trasmissione facsimile, misurati all'interfaccia d'utente su cui è connesso il terminale fax, sono i seguenti:

- **parametri permanenti** (che caratterizzano sempre un collegamento):
 - attenuazione del collegamento (equivalente di trasmissione);
 - rumore globale (psfometrico, di quantizzazione, da diafonia ...);
 - rapporto segnale/rumore S/N (parametro legato ai due precedenti ed al livello di trasmissione predisposto sulle macchine fax);
- **parametri aleatori** (presenti accidentalmente su un collegamento):
 - rumore impulsivo;
 - microinterruzioni sul segnale.

La classificazione in queste due categorie è arbitraria ma significativa perché, oltre che riferirsi al tipo di rapporto fra parametri e rete, è espressa anche per la diversità degli effetti prodotti dalle due classi di parametri sulla stessa trasmissione facsimile.

I **parametri permanenti** intervengono, infatti, a determinare la velocità di trasmissione, riducendola al

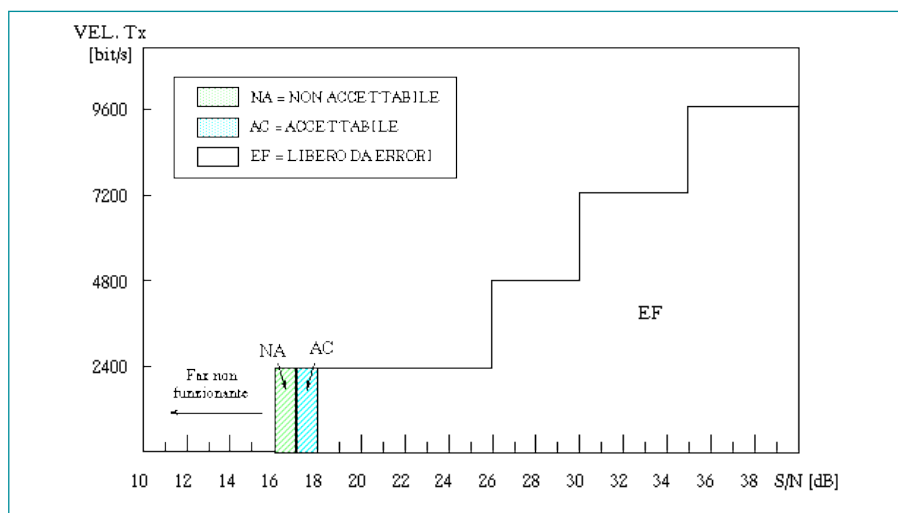


Figura 6 Diagramma A - Variazione della velocità di trasmissione e della qualità dell'immagine in funzione del rapporto S/N.

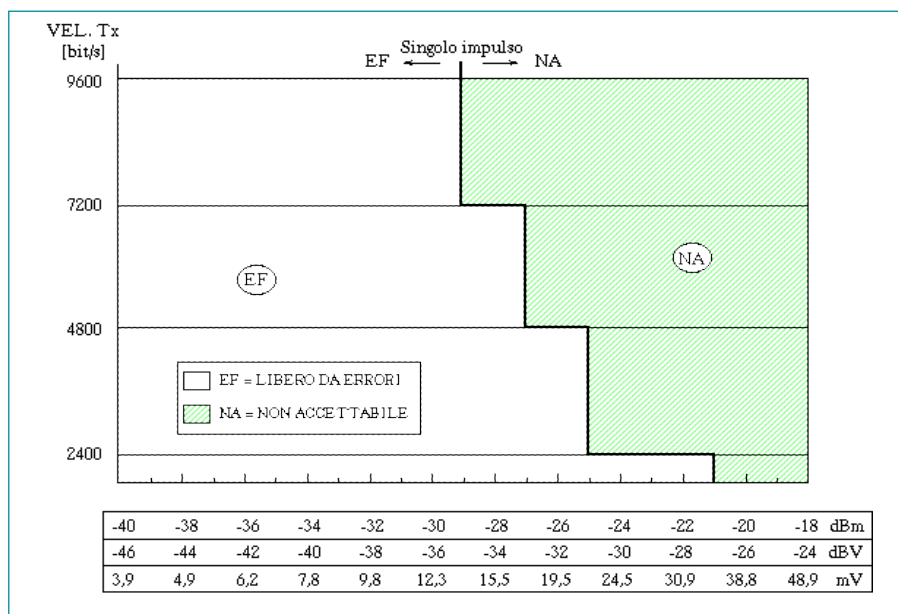


Figura 7 Diagramma B1 - Variazione della velocità di trasmissione e della qualità dell'immagine in funzione dei singoli impulsi di rumore (non ripetitivi).

diminuire del rapporto S/N pur mantenendosi la qualità dell'immagine al livello più alto EF (Error Free), per un ampio campo di variazione dello stesso rapporto; quando questo raggiunge valori troppo bassi, la velocità di trasmissione è ridotta al valore minimo (2400 bit/s) e la qualità dell'immagine decresce rapidamente, entro pochi dB di S/N, dalla condizione di EF a quella di AC (Accettabile) e poi a quella NA (Non Accettabile).

I **parametri aleatori**, invece, difficilmente intervengono a modificare la velocità di trasmissione, proprio per la imprevedibilità e sporadicità degli eventi che li caratterizzano: a qualunque velocità di trasmissione del fax i parametri aleatori hanno, però, sempre un effetto di deterioramento della qualità dell'immagine,

⁽⁴⁾ Ci si riferisce a quei casi in cui i livelli alti del segnale di ritorno su un'apparecchiatura fax, sono generalmente determinati da terminazioni anomale sulla forchetta telefonica del terminale lontano che riducono l'attenuazione trasversale della stessa a valori molto bassi, inferiori a 20 dB; in tali situazioni il segnale di ritorno, che, tra l'altro, in una rete completamente numerica transita su circuiti a basso equivalente, può essere ricevuto al terminale fax locale a livelli confrontabili con quelli del segnale utile.

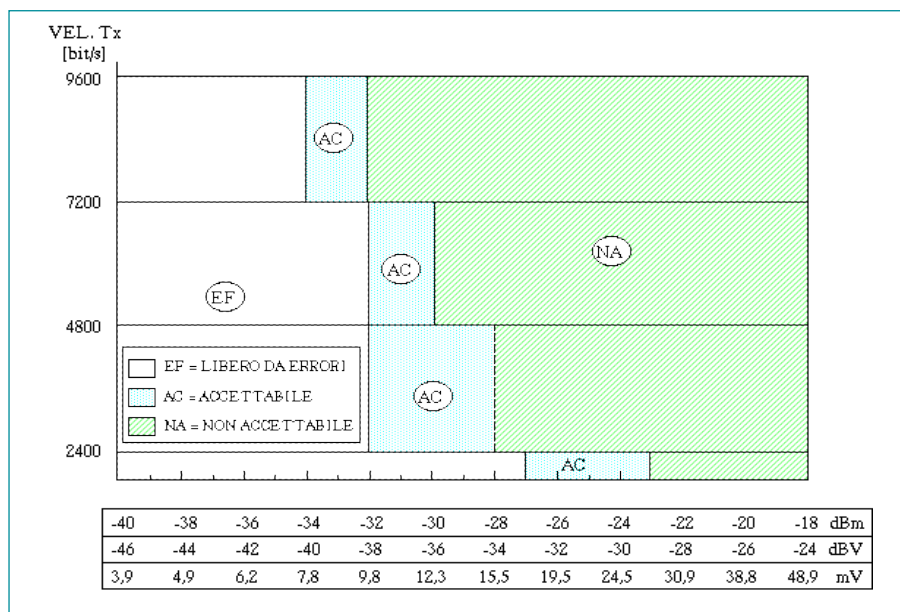


Figura 8 Diagramma B2 - Variazione della velocità di trasmissione e della qualità dell'immagine in funzione del rumore impulsivo ripetitivo.

in funzione della numerosità degli eventi nonché dell'ampiezza del rumore impulsivo o della durata della microinterruzione.

Queste osservazioni, verificate da appropriate misure, hanno permesso di formulare il modello che si concretizza nei *diagrammi degli stati* A, B1, B2, C, riportati nelle figg. 6, 7, 8 e 9: A è relativo ai parametri permanenti, B1, B2 e C si riferiscono a quelli aleatori.

Gli stati si riferiscono alla velocità di trasmissione a cui lavora il fax e i diagrammi descrivono, per ciascuno di questi stati, il risultato sulla qualità dell'immagine in ragione del rapporto S/N (fig. 6), o del rumore impulsivo (figg. 7 e 8), o della durata della microinterruzione (fig. 9).

Si osservi, sul diagramma A, l'ampia escursione del rapporto S/N entro la quale si riscontra la qualità EF (*libera da errori*), pur riducendo la velocità di trasmissione; si osservi anche come a valori bassi di S/N, si verifica il deterioramento della qualità immagine, fino al completo fuori servizio della macchina fax, entro 2 dB di variazione (da 18 a 16 dB) dello stesso S/N.

I diagrammi B1 e B2 descrivono l'effetto del rumore impulsivo sulla qualità della transazione facsimile. Il diagramma B1 (fig. 7) mette in evidenza il limite dei valori di ampiezza con i quali un singolo impulso di rumore determina, alle varie velocità, il risultato di EF (*libera da errori*) o

NA (*non accettabile*) nella qualità dell'immagine.

Il diagramma B2 (fig. 8) riporta, in corrispondenza a ciascuna velocità, le aree che indicano la qualità dell'immagine ottenibile in presenza di rumore impulsivo ripetitivo, del quale è data, come variabile, l'ampiezza; la frequenza di ripetizione usata per la determinazione del diagramma B2 è stata fissata in 10 Hz, facendo riferimento alle caratteristiche di reali disturbi impulsivi presenti in rete.

Nel diagramma C (fig. 9) si può osservare, infine, come non esista un'area che consenta di dichiarare la qualità dell'immagine EF, in presenza di microinterruzioni; sembra, cioè, che qualunque microinterruzione, ancorché di brevissima durata, provochi deterioramenti nella qualità dell'immagine.

Nelle prove eseguite per la deduzione del modello sono state utilizzate durate dei fenomeni a partire dal limite inferiore di 0,3 ms, che è il limite della classificazione inserita nella Raccomandazione ITU-T O.62 (Specifiche per apparati di misura di tipo analogico: Volume IV - fascicolo IV.4, Blue Book).

L'indagine con la quale è stato possibile pervenire al modello qui descritto, ha fatto uso, volutamente, di apparecchiature fax del Gruppo 3 molto semplici, funzionanti in modalità non-ECM e prive di particolari controllori automatici; in questo modo è stato possibile rendere più evidenti, sulla qualità della transazione fax, gli effetti delle prestazioni di rete senza mascheramenti o recuperi possibili attraverso

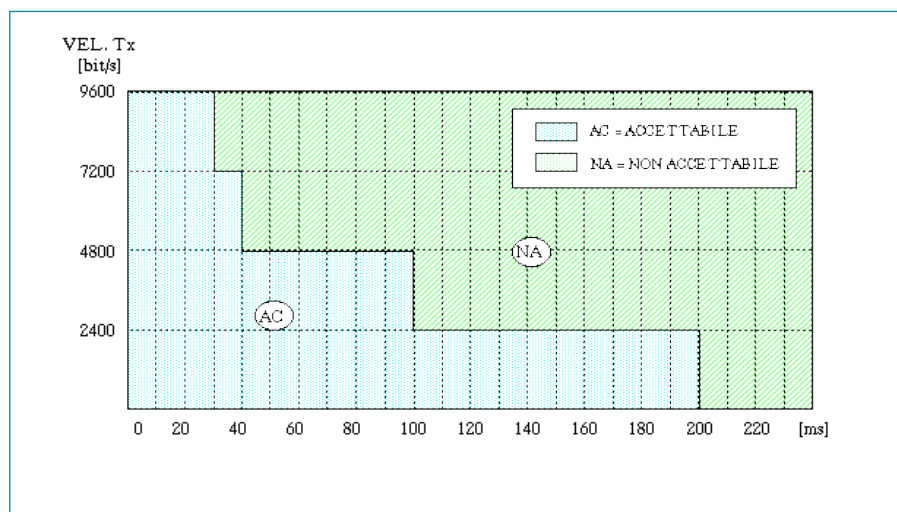


Figura 9 Diagramma C - Variazione della velocità di trasmissione e della qualità dell'immagine in funzione delle microinterruzioni.

questi controllori che, peraltro, appartengono alle cosiddette prestazioni non-standard dei terminali fax e, quindi, non sono presenti in molti terminali disponibili in commercio.

4. Conclusioni

Quanto fin qui riferito mette in evidenza, oltre alle caratteristiche funzionali delle apparecchiature per la trasmissione facsimile, anche la notevole attività svolta in Telecom Italia per caratterizzare questo tipo di trasmissione in termini di qualità del servizio offerto.

In particolare sono da sottolineare le numerose campagne di misura eseguite sulla rete nazionale ed internazionale che, pur con le difficoltà legate alla manualità delle relative operazioni, hanno permesso

di affrontare razionalmente i problemi della trasmissione facsimile e di individuare le prestazioni di rete che risultano in grado di garantire il servizio facsimile secondo le attese della clientela.

A partire dagli esiti di queste attività è emersa l'esigenza, avvertita anche da altri Gestori TLC esteri, di definire parametri standard per la valutazione della qualità del servizio facsimile: questa esigenza ha portato, in ambito internazionale, alla definizione di appropriate normative su questo tema, ed, in ambito nazionale, allo sviluppo di idonei sistemi di misura e di controllo di questi parametri. Questi argomenti, unitamente ai risultati di una sperimentazione in campo dell'*SMTF (Sistema di Monitoraggio del Traffico Fax)*, realizzato da Telecom Italia per il controllo della qualità della trasmissione facsimile, costituiranno l'oggetto del prossimo articolo su queste tematiche.

Appendice A

Raccomandazioni ITU-TSS (ex CCITT) per la trasmissione facsimile

<i>Gruppo Fax</i>	<i>Raccomandazione</i>	<i>Volume (Blue Book)</i>
1	T.2 - Facsimile Apparatus for Document Transmission over the PSTN	Vol. VII - Fasc. VII.3
2	T.3 - Facsimile Apparatus for Document Transmission over the PSTN	Vol. VII - Fasc. VII.3
3	T.4 - Facsimile Apparatus for Document Transmission over the PSTN	Vol. VII - Fasc. VII.3
2, 3	T.30 - Procedures for Document Transmission over the PSTN	Vol. VII - Fasc. VII.3
4	T.6 - Facsimile Coding Schemes and Coding Control Functions for Group 4 Facsimile Apparatus	Vol. VII - Fasc. VII.3
4	T.62 - Control Procedures for Teletex and Group 4 Facsimile Services	Vol. VII - Fasc. VII.3
4	T.70 - Network Independent Basic Transport Services for the Telematic Services	Vol. VII - Fasc. VII.5
4	T.72 - Terminal Capabilities for Mixed Mode Operation	Vol. VII - Fasc. VII.5
4	T.411 - Introduction and General Principles	Vol. VII - Fasc. VII.6
4	T.412 - Document Architecture	Vol. VII - Fasc. VII.6
4	T.414 - Document Profile	Vol. VII - Fasc. VII.6
4	T.415 - Document Interchange Format (ODIF)	Vol. VII - Fasc. VII.6
4	T.416 - Character Content Architecture	Vol. VII - Fasc. VII.6
4	T.417 - Raster Graphics Content Architecture	Vol. VII - Fasc. VII.6
4	T.503 - Document Application Profile for Interchange of Group 4 Documents	Vol. VII - Fasc. VII.7
4	T.521 - Communication Profile for BT0 Bulk Document Transfer under T.62 Session Service Environment	Vol. VII - Fasc. VII.7
4	T.563 - Terminal Characteristics for Group 4 Facsimile Apparatus	Vol. VII - Fasc. VII.7

Note

- 1) La Racc. T.5 è sostituita dalle Racc. della serie T.500: T.503, T.521, T.563.
- 2) La Racc. T.73 è sostituita dalle Racc. della serie T.400: T.411, T.412, T.414, T.415, T.416, T.417, per gli argomenti:
 - "Manipolazione, Accesso e Trasferimento di Documenti", *DTAM (Document Transfer, Access, and Manipulation)*;
 - "Architettura dei Documenti d'Ufficio", *ODA (Office Document Architecture)* e "Formato per l'Interscambio".

Abbreviazioni

AC	= Acceptable
ASPEN	= Automatic System Performance Evaluation Network
CCD	= Charge Coupled Device
CCITT	= Comité Consultatif International pour la Téléphonie et la Télégraphie
DNC	= Data Network Control
ECM	= Error Correction Mode
EF	= Error Free
FTI	= Fax Traffic Index
ISDN	= Integrated Services Digital Network
ISO	= International Standardization Organization
ISUP	= ISDN User Path
ITU-TSS	= International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector
MH	= Modified Huffman
MMR	= Modified - Modified Read
MR	= Modified Relative addressing
MSLT	= Minimum Scan Line Time
NA	= Not Acceptable
OSI	= Open Systems Interconnection
PSTN	= Public Switched Telephone Network
SMTF	= Sistema di Monitoraggio del Traffico Facsimile

Le seguenti abbreviazioni si riferiscono ai messaggi del protocollo tipo BSC (Binary Synchronous Communications) relativo alla comunicazione facsimile.

CED	= Called station identification
CFR	= Confirmation to receive
CNG	= Calling tone
CTC	= Continue to correct
DCN	= Disconnect
DCS	= Digital command signal
DIS	= Digital identification signal
EOL	= End of line
EOP	= End of procedure
EOR	= End of retransmission
MCF	= Message confirmation
MPS	= Multipage signal
PPR	= Partial page request
RTC	= Return to control
RTN	= Retrain negative
RTP	= Retrain positive
TCF	= Training check



Piero Izzo, laureato in Ingegneria Elettronica con specializzazione in telecomunicazione, è stato poi assunto in Telecom Italia (ex SIP). Nel 1991 ha conseguito il "Quality Management Master" presso il Consorzio Universitario in Ingegneria della Qualità di Pisa. Si è occupato principalmente dello sviluppo di sistemi per la raccolta ed il trattamento dei dati di qualità delle reti di telecomunicazione; in particolare ha avuto la responsabilità del progetto del Sistema di Monitoraggio del Traffico Facsimile (SMTF).

Dal 1992 collabora ai lavori della Questione 2 del Gruppo di Studio 2 dell'ITU-TSS "Facsimile Service Quality on Switched Telephone Networks". Opera ora nel settore di Qualità Entrante della Divisione Rete della Direzione Generale.

Bibliografia

- [1] K. R. McConnell - D. Bodson - R. Schaphorst: "FAX: Digital Facsimile Technology & Applications" 1st and 2nd Edition - Artech House
- [2] Ministero PT - ISPT Ufficio 4°: "Norma Tecnica n. 685 relativa ai terminali del Gruppo 3 per il servizio facsimile" - Edizione maggio 1983
- [3] R. W. Hamming: "Coding and information theory" - Prentice Hall 1986
- [4] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana: "Legge 7 giugno 1993 n. 183: Norme in materia di utilizzazione dei mezzi di telecomunicazione" - GU 14 giugno 1993
- [5] Relazione Tecnica: "Qualità della trasmissione facsimile su comunicazioni intercontinentali - Campagna di misure sulla tratta nazionale italiana: rete urbana di Roma <-> Centro ITC di Acilia" SIP-Italcable - Roma, ottobre 1991
- [6] Relazione Tecnica: "Prove di qualità sulla trasmissione facsimile su relazioni internazionali Italia-Inghilterra" - SIP/BT - Roma/Londra, Giugno 1992 Cfr. anche: "Technical Note: Quality Control on fax transmission" - SIP - Roma, maggio 1993
- [7] Relazione Tecnica: "Qualità della trasmissione facsimile su comunicazioni intercontinentali - Campagna di misure sulla tratta nazionale italiana: centro ITC di Roma -> rete urbana di Roma; centro ITC di Milano -> rete urbana di Milano" - SIP-Italcable - Roma, gennaio 1994
- [8] Relazione Tecnica: "Qualità della trasmissione facsimile: Indagine sulle relazioni esistenti fra le prestazioni di rete e la qualità del fax" - SIP - Roma, novembre 1992



Vincenzo Pasquini, diplomato presso l'Istituto Tecnico Industriale "L. Da Vinci" di Firenze, ha iniziato la sua attività lavorativa nell'ambito della Direzione Regionale Toscana dell'allora concessionaria telefonica TETI (poi confluita in SIP, oggi Telecom Italia), occupandosi di misure per il collaudo e l'attivazione in esercizio di apparati trasmissivi. Dal 1972 al 1994 ha operato presso la Direzione Generale con responsabilità crescenti nel collaudo e nella sperimentazione in campo delle nuove generazioni di sistemi di trasmissione. Con l'istituzione della linea Qualità in Direzione Generale (1989), è stato nominato responsabile del settore "Misure per il controllo Qualità". Opera ora nell'ambito della Direzione Territoriale Rete C1 di Telecom Italia.



Raoul Pieroni ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Firenze meritando la lode. Assunto in SIP nel 1979, si è occupato di progettazione di autocommutatori e gestione degli impianti presso la sede di Firenze. Nel 1992 ha assunto la responsabilità dell'esercizio presso la stessa sede. Dal luglio 1996 opera in Direzione Generale come responsabile del settore Apparati di Trasmissione e Cavi della Linea Esercizio e Gestione Operativa. Nel 1987 ha conseguito il dottorato di ricerca in Ingegneria Elettronica e dell'Informazione presso l'Università degli Studi di Padova.

Esperienze in Telecom Italia

Primi risultati in campo sulla rete ATM

BRUNO PENNESTRÌ
DOMENICO SERAFINI
PIER FRANCESCO VINCENTI

Nel 1994 Telecom Italia ha avviato le attività di sperimentazione in campo della tecnologia ATM in ambito nazionale e, parallelamente, in quello pan-europeo del "Memorandum of Understanding" (MoU) ATM, sottoscritto da diciassette Gestori di TLC di sedici Paesi. La sperimentazione è stata avviata con la realizzazione della rete Pilota ATM nazionale e di quella europea, alla cui costituzione Telecom Italia ha contribuito con l'installazione del gateway di Milano e l'attivazione dei collegamenti internazionali verso i gateway di Parigi, Colonia e Zurigo. La sperimentazione si è conclusa a dicembre 1995 ed ha visto la partecipazione attiva di numerosi Utenti Pilota, distribuiti nei diversi Paesi coinvolti nella iniziativa, che hanno impiegato la connettività internazionale ad alta velocità offerta dalla rete Pilota ATM europea e da quelle nazionali ad essa connesse, per dare corso a numerose prove sperimentali di applicazioni video, dati e più in generale multimediali di tipo tradizionale o innovativo. Nel presente articolo si riassumono le principali connotazioni della sperimentazione, i risultati ad essa relativi "misurati" in campo e le indicazioni emerse per i Gestori.

1. Introduzione

La necessità di sperimentare una rete ATM in condizioni reali di carico, con traffico non simulato, prima di iniziare la fase di commercializzazione dei servizi a larga banda è un'esigenza molto sentita dai Gestori di telecomunicazioni. D'altra parte sperimentare in campo significa "misurare" tutte le variabili più significative connesse con la complessa realtà della tecnologia ATM. Telecom Italia ha pertanto avviato la sperimentazione in una visione sinergica con l'iniziativa parallela messa in atto da diciassette Gestori firmatari del MoU (*Memorandum of Understanding*) ATM[1], sottoscritto nel novembre '92 e conclusosi nel dicembre '95, del quale sono stati condivisi obiettivi, modalità e tempi di attuazione. L'obiettivo è stato favorito dall'avvio, in ambito europeo, di programmi comunitari, come ad esempio TEN-IBC (*Trans European Networks - Integrated Broadband Communications*), RACE (*Research and technology development in Advanced Communications technologies in Europe*) e ESPRIT (*European Strategic Programme for R&D in Information Technology*), per il finanziamento di progetti dedicati allo sviluppo o alla sperimentazione di applicazioni a larga banda negli ambiti di utilizzo più svariati, quali ad esempio la progettazione industriale, la moda, la medicina, l'editoria, il turismo; gli sforzi dell'Information Technology si sono così sinergicamente uniti a quelli di diversi settori dell'industria e del terziario.

Questa opportunità ha consentito ai vari Gestori firmatari del MoU ATM, di disporre già nel 1994 di un bacino potenziale di Clientela, sostanzialmente di tipo Business e per lo più coinvolta in partnership sperimentali di respiro europeo, da cui potere attingere un campione di Utenti Pilota da coinvolgere nelle sperimentazioni.

Come già descritto in [2], questa iniziativa ha inteso sperimentare la tecnica ATM attraverso la realizzazione di una rete geografica pan-europea di tipo multivendor e multigestore, basata sulle raccomandazioni ITU-T, gli standard ETSI e le specifiche EURESCOM disponibili nel 1993. L'impiego di questa rete è stato finalizzato alla sperimentazione di servizi a larga banda e di applicazioni innovative in collaborazione con un gruppo selezionato di Utenti Pilota di diversa tipologia: laboratori di ricerca dei Gestori, Enti pubblici di ricerca, partner di progetti comunitari per lo sviluppo e la sperimentazione di applicazioni innovative ed alcune Aziende multinazionali.

Attraverso la piena integrazione tecnico-operativa della propria rete Pilota ATM con quella europea, Telecom Italia ha potuto fornire agli Utenti Pilota nazionali un servizio ATM sperimentale internazionale ad alta velocità, denominato "VP Bearer Service": esso prevede la fornitura di connessioni di cammino virtuale VP (*Virtual Path*) ATM su base permutata, secondo varie modalità (permanente, occasionale, periodica giornaliera e periodica settimanale) e attraverso accessi transmissivi ad alta capacità (tipicamente PDH a 34 Mbit/s

UTENTI PILOTA

La sperimentazione nazionale ha coinvolto quattordici Utenti Pilota, selezionati nell'ambito della Clientela "Business", per un totale di sedici siti,

otto permanenti:

- CSELT (Torino), da fine giugno 1994;
- Italdesign (Moncalieri), da ottobre 1994;
- Alenia Spazio (Torino), da febbraio 1995;
- Italtel (Settimo Milanese), da giugno 1995;
- INFN, da settembre 1995;
- Laboratorio ATM Telecom Italia, da settembre 1994,

otto temporanei:

- Lingotto (Torino), novembre 1994;
- Auditorium di Telecom Italia, novembre 1994;
- Università di Trento, maggio 1995;
- Centro Congressi di Milano Fiori (Milano), maggio 1995;
- CNR (Roma), maggio e giugno 1995;
- Università di Firenze, Uffici, maggio, giugno, ottobre e novembre 1995;
- CRIAI - Consorzio campano di Ricerca per l'Informatica e per l'Automazione Industriale (Napoli, via NeaNET), maggio e giugno 1995.

su SAF (*Sistema di Accesso Flessibile*) per Clienti TOP 500). Mediante l'impiego di apparati d'accesso DSU (Data Service Unit), router ATM, service multiplexer, autocommutatori locali ATM, il servizio portante è stato utilizzato dagli Utenti Pilota per trasferire qualunque tipo di informazione (audio, video, dati) ad alta velocità sia in ambito nazionale sia europeo.

La necessità, da parte degli operatori, di acquisire esperienza sul funzionamento di una rete ATM di vaste dimensioni ha portato alla costituzione, nell'ambito del MoU ATM, del gruppo di lavoro PWG (*Performance Working Group*) per la valutazione delle prestazioni caratteristiche della rete ATM europea.

Gli aspetti principalmente trattati nella attività del PWG[3] hanno riguardato l'osservazione della disponibilità degli elementi di rete e delle connessioni VP permutate, la verifica di continuità per le connessioni

in servizio, la caratterizzazione del traffico generato dalle applicazioni sperimentali ed infine l'analisi del degrado introdotto dalla rete sulle connessioni in funzione del carico della rete stessa. Queste prove rappresentano oggi un valido punto di riferimento per tutte le attività di sperimentazione di servizi basati sulla tecnica ATM.

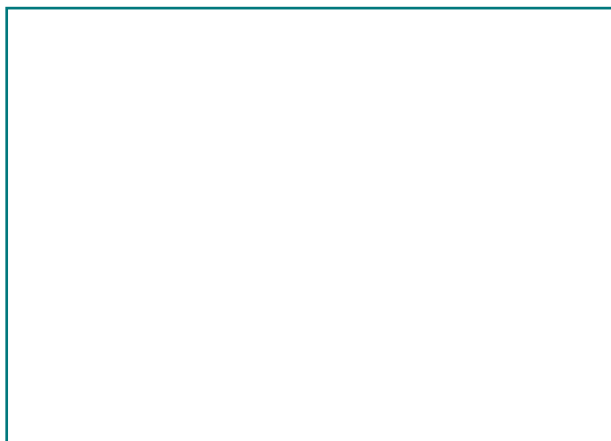
I coinvolgimento dei clienti

2. Gli Utenti Pilota

Uno degli aspetti che ha maggiormente caratterizzato la sperimentazione sulle reti Pilota ATM nazionale ed europea è stato senza dubbio il coinvolgimento e la partecipazione di Clienti in qualità di Utenti Pilota.

I criteri posti a base della sperimentazione avviata con il MoU ATM sono stati infatti, sin dall'inizio, quelli di non circoscrivere ai laboratori dei Gestori l'esperienza tecnologica, ma di estenderne la visibilità e l'utilizzo ai Clienti effettivi. Lo scopo, sotteso a tale scelta, è stato duplice: da un lato consentire e promuovere la sperimentazione di applicazioni innovative con requisiti di "alta velocità di trasferimento dell'informazione", dall'altro investigarne le possibilità e le modalità di impiego su una rete ATM di estensione geografica.

Nella quasi totalità dei casi gli Utenti Pilota si sono spontaneamente rivolti al Operatore nazionale per



Applicazione sperimentale di lavoro cooperativo a distanza: postazione di operatore.

richiedere l'accesso alla rete Pilota ATM europea. In alcuni Paesi essi risultavano già collegati ad una rete a larga banda nazionale, ad es.: rete *CBDS/SMDs* (*Connectionless Broadband Data Services/Switched Multi-megabit Data Services*) costruita su una struttura *MAN* (*Metropolitan Area Network*) o rete ATM nazionale; in altri casi l'accesso ad alta velocità doveva essere realizzato ex novo.

Il limitato numero di risorse umane e la limitata capacità di rete dedicabile, per ragioni economiche, alla sperimentazione, ha comportato che i singoli Gestori effettuassero in via preliminare un'accurata scelta dei Clienti da interessare. Questo processo è stato attuato attraverso un coordinamento a livello internazionale (gruppo europeo dei Pilot User Contact Point) sulle selezioni effettuate nei singoli ambiti nazionali.

In ambito italiano, la selezione del campione di Utente Pilota è stata eseguita essenzialmente sulla base di due tipi di valutazioni: da un lato l'interesse di Telecom Italia nei riguardi del progetto proposto dal Cliente, dall'altro l'agevole realizzabilità, da un punto di vista tecnico-economico, della interconnessione fisica alla rete ATM nazionale della sede indicata dal Cliente.

Complessivamente questo approccio ha portato ad individuare una serie di criteri orientativi di selezione tra i quali: tipologia delle applicazioni proposte per la sperimentazione; natura e durata delle sperimentazioni; relazioni di traffico con i partner esteri connessi alla rete Pilota europea; disponibilità degli altri Gestori europei a fornire le interconnessioni ATM richieste (sia nel caso di transiti, sia per l'accesso al destinatario), ubicazione geografica della sede del Cliente, tempo di realizzazione e costo dell'infrastruttura trasmissiva d'accesso (sono stati preferiti, ad esempio, i Clienti con sedi nelle quali era già presente un accesso TOP 500 di classe A).

Sulla base di questi criteri è stato selezionato un insieme di Utenti Pilota riconducibili sostanzialmente alle seguenti tipologie: laboratori di ricerca nel campo delle telecomunicazioni (CSELT, Telecom I-

talia), centri di progettazione industriale (Alenia Spazio, Italdesign, Italtel), Istituti e Consorzi di ricerca (es.: *INFN/GARR* (*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare/Gruppo Armonizzazione Reti delle Ricerche*), *CRIAI* (*Consorzio campano di Ricerca per l'Informatica e per l'Automazione Industriale*)).

L'applicazione dei suddetti criteri non è stata tuttavia vincolante: in diversi casi infatti Telecom Italia ha fornito accessi ad alta velocità in via temporanea a Clienti che ne hanno fatto richiesta in occasione, ad esempio, di convegni o di conferenze di rilevanza europea.

2.1 Applicazioni sperimentate

Tra le tipologie di applicazioni maggiormente utilizzate per la sperimentazione, un ruolo fondamentale ha giocato il *lavoro cooperativo a distanza in tempo reale*. Applicazioni di questo tipo sono state finalizzate alla progettazione industriale *CAD* (*Computer Aided Design*), alla teledidattica ed alla telemedicina. Sono state anche sperimentate applicazioni e sistemi per la videoconferenza a 2Mbit/s su "circuito emulato" in ATM, applicazioni per la simulazione distribuita e prototipi di sistemi per l'accesso interattivo a basi di dati multimediali.

Alcuni progetti di ricerca (es.: *DASL* (*Distributed ATM high speed Service Lab*), *BRAVE* (*Broadband Access Verification Experiments*)) sono stati finalizzati principalmente, alla sperimentazione di aspetti legati all'utilizzo della tecnologia ATM, tra i quali: il trasporto su connessioni semipermanenti di protocolli di segnalazione per reti a larga banda; l'adattamento e la moltiplicazione di traffici eterogenei; il controllo del traffico ATM generato da sorgenti a velocità di cifra variabile.

Nell'ambito di altri progetti sperimentali (Progetti *IDEA* (*Industrial Design across Europe through ATM*), *ADONNIS DIVISAR* (*A Demonstration Of New Networking Integrated Services - DIstributed simulation for Visualization of Space Activities in near Real time*),

APPARATI TERMINALI DI ACCESSO UTILIZZATI DAGLI UTENTI PILOTA

- **Commutatori locali ATM**
 - *Fore ASX 200, Fore ASX 100, Cisco LF100*
- **Service multiplexer**
 - *Prototipo Italtel*
- **Router**
 - *Cisco 7000, Cisco 7010, Bay Networks BLN*
- **DSU/Adattatori**
 - *ATM 34, Digital Link 3202E, ASU Alcatel A1000 prototipo CSELT G703/AAL1/ATM Fore SBA 200, Fore GIA200, Fore ESA 200 adattatore prototipico per PC*
- **Terminali d'Utente**
 - *Work Station SUN Sparc 5, 10 e 20 Silicon Graphics Indy Indigo 2, DigitalAlfa 200, Macintosh, Personal Computers*

ALCUNI DATI SULLA SPERIMENTAZIONE

Nel corso del 1995 sono state attivate oltre trecento connessioni, delle quali il novanta per cento internazionali, per un totale di circa millequattrocento finestre di attivazione^(*), con valori di banda dipendenti dalla applicazione sperimentata. Valori tipici sono:

- 2 - 2,5 Mbit/s per le connessioni di tipo isocrono (es.: videoconferenza su circuito emulato);
- 2 - 6 Mbit/s, per le applicazioni multimediali a velocità di cifra variabile basate su TCP/IP e/o UDP/IP, a seconda del tipo e del numero di funzioni attivate (es.: audio e/o video comunicazione, condivisione di whiteboard, e-mail, CAD);
- fino a 11 Mbit/s, ad esempio per applicazioni basate su codifica MPEG-2 in tempo reale.

La durata media della procedura di prenotazione delle connessioni (dal momento della richiesta al momento della notifica di prenotazione avvenuta): è risultata tra i 30 min per le connessioni nazionali ed un giorno lavorativo, per le connessioni internazionali (con uno o due transiti in altri Paesi);

(*) N.B.: le connessioni periodiche possono comprendere una o più finestre di attivazione

ADONNIS AC&CD (A Demonstration Of New Networking Integrated Services - Collaborative and Co-operative Design), PAGE IN (Pilot Application on a Giga-bit European Integrated Network), HIM (High performance Information infrastructure in Medicine), Summer School '95, la sperimentazione è stata finalizzata e condotta dagli Utenti Pilota in relazione ad un preciso contesto applicativo quali ad esempio: il design industriale nel settore automobilistico; la progettazione industriale nel settore dei satelliti ed in quello aerospaziale; la teledidattica; la telemedicina.

2.2 Servizi forniti durante la sperimentazione

La rete Pilota ATM nazionale ha fornito agli Utenti il servizio sperimentale "VP Bearer Service" le cui principali caratteristiche sono:

- modo di trasferimento *orientato alla connessione* (installazione, mantenimento e abbattimento della connessione);
- connessioni ATM di tipo VP punto-punto;
- servizio permutato: le connessioni sono attivate su richiesta del singolo Cliente mediante procedure di gestione;
- interfaccia utente-rete *UNI (User Network Interface)* ATM a 34 Mbit/s conforme alle Racc. ITU - T G.703, G. 804, G.832, I.361;
- classe di trasporto caratterizzata da allocazione e controllo della banda a livello di picco;
- modalità di sottoscrizione del servizio *permanente* e su *prenotazione*; quest'ultima di tipo occasionale, periodica giornaliera (fino a quattro finestre di attivazioni al giorno), periodica settimanale (fino a ventotto finestre di attivazioni alla settimana);
- disponibilità del servizio in ambito nazionale ed europeo.

Il servizio VP Bearer Service è stato, inoltre, utilizzato per effettuare alcune sperimentazioni dei servizi CBDS/SMDS (configurazione DSU-DSU) ed emulazione di circuito.

L'esperienza dal campo di "misura"

3. Aree di ricerca e risultati in campo

Parallelamente alle attività di sperimentazione condotte dagli Utenti Pilota attraverso la rete ATM europea e monitorate dai Gestori attraverso la raccolta e l'esame dei relativi rapporti informativi (Pilot User Report), il gruppo di lavoro PWG ha svolto un'attività di ricerca nelle seguenti aree tecniche:

- definizione di procedure per la supervisione e per la verifica di continuità dei collegamenti fisici e del corretto funzionamento dei nodi di rete a livello ATM e misure di disponibilità della rete;
- caratterizzazione del traffico generato da alcune applicazioni sperimentali e analisi del comportamento della rete attraverso il controllo dei parametri caratterizzanti il traffico;
- misure di prestazione su connessioni VP.

3.1 Supervisione della rete ATM

Gran parte della attività di ricerca è stata volta all'emulazione delle funzionalità fornite dal segmento di OAM (Operation, Administration and Maintenance), che molti apparati non presentavano ancora. Sono state definite alcune procedure operative per effettuare la supervisione della rete ed il controllo della continuità al livello trasmissivo ed al livello ATM: esse sono basate su connessioni di prova permanenti a bassa frequenza di cifra (64 kbit/s), attivate tra coppie di nodi gateway adiacenti e chiuse in loop in uno dei due estremi. Tali connessioni sono state terminate su sistemi di misura automatici sviluppati nei laboratori di ricerca dei Gestori europei per il

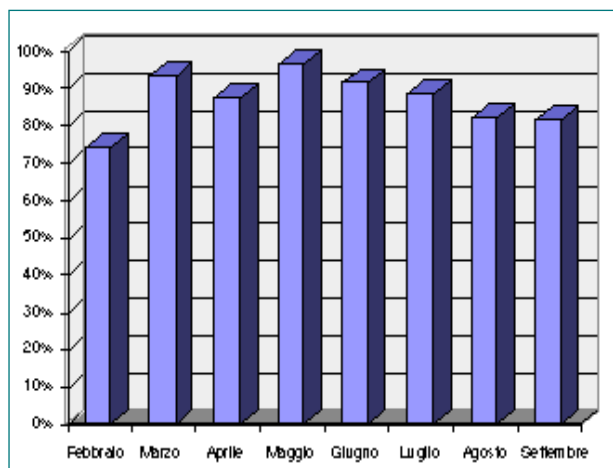


Figura 1 Disponibilità delle connessioni di prova nel periodo febbraio - settembre '95.

monitoraggio delle prestazioni. In particolare è stato messo a punto un sistema di prova che consente di controllare la disponibilità dei nodi remoti prima di attivare una connessione o nei casi in cui si presenti un degrado delle prestazioni. Analogamente, con questo sistema di prova è possibile controllare l'accesso dell'Utente Pilota al momento in cui esso viene per la prima volta connesso alla rete oppure al momento dell'attivazione di una nuova connessione. Questo sistema è stato largamente usato durante la sperimentazione pilota e la applicabilità dipende dalla capacità degli apparati di utente e di rete di chiudere in loop le connessioni ATM. A titolo di esempio nel grafico riportato in fig. 1 viene data un'indicazione della disponibilità del livello ATM misurata dai Gestori sulle connessioni di prova nel periodo compreso tra febbraio e settembre '95.

I livelli indicati in figura mostrano in quale misura abbiano inciso le interruzioni di connettività occorse in ambito nazionale ed internazionale per effetto dei fermi di sistema attuati nei gateway internazionali per verifiche e/o ripartenze dei ripartitori numerici ATM. Del resto, tenuto conto della connotazione sperimentale delle reti pilota nazionale ed europea, la eventualità di sospensioni o di accidentali interruzioni del servizio era stata appositamente contemplata nei contratti di collaborazione alla sperimentazione sottoscritti dagli Utenti Pilota.

3.2 Caratterizzazione del traffico

Notevole attenzione è stata posta alla ricerca di un criterio per l'allocazione delle risorse di rete e per la determinazione dei parametri dell'algoritmo di controllo del traffico (algoritmo di *Policing*) da impostare alle interfacce *UNI* (*User Network Interface*) o *NNI* (*Network Node Interface*). A tale scopo sono state effettuate misure per la caratterizzazione del traffico generato dalle applicazioni sperimentali dal punto di vista della variazione del ritardo di cella *CDV* (*Cell Delay Variation*) e di come essa evolve lungo la rete in funzione del carico della rete e dei parametri del contratto di traffico. Come sarà meglio descritto nell'articolo [4] che sarà pubblicato in un numero successivo

di questa rivista, nel contratto di traffico sono specificati gli impegni dei singoli Clienti nei confronti della rete, in termini di massimo volume di traffico immesso nella rete, e quelli della rete nei confronti del Cliente, in termini di *QoS* (*Qualità del Servizio*) garantita. Il contratto di traffico per una connessione di tipo *CBR* (*Constant Bit Rate*) definisce due parametri: T , inverso della banda di picco di una connessione, che rappresenta l'intervallo di tempo minimo tra due celle consecutive dichiarato dall'Utente e τ che rappresenta il massimo valore di *CDV* accettato dalla rete ovvero l'anticipo massimo tollerato per una cella. L'attività di studio è stata ostacolata dalla non conformità alla Racc. ITU-T, I-371[5], degli algoritmi di *Policing* impiegati in molti degli apparati di rete. In tale contesto era infatti possibile che applicazioni sperimentali, indicate come sorgenti *VBR* (*Variable Bit Rate*), potessero trasmettere lunghi *burst* di celle all'interfaccia di accesso senza alcun controllo efficace sul traffico da parte del Gestore.

La memorizzazione di un campione significativo di *CAT* (*Cell Arrival Time*), ovvero di tempi di arrivo delle celle, ha permesso di effettuare elaborazioni statistiche interessanti; queste elaborazioni hanno dato informazioni sulle coppie di valori di banda di picco e di massima *CDV* che caratterizzano il traffico trasportato da una connessione ATM. In funzione di tali valori il Gestore può determinare, ai fini della definizione del contratto di traffico, i valori T e τ fissata la perdita di celle per *Policing*.

In Tab. 1 sono riportati i valori *CDV*, ottenuti attraverso una elaborazione su un campione di 131.072 (circa 13 s) osservati su una interfaccia *UNI* per una connessione su cui era generato traffico da una sorgente *CBR*, avente banda di 4Mbit/s, in presenza di altri traffici di carico generati da applicazioni video, trasmissione dati ad alta velocità e fonia. Nella tabella sono riportati i valori *CDV* per vari valori di carico, assumendo perdita di celle per *Policing* nulla.

Dalla tabella si osserva un aumento considerevole della *CDV*, in funzione del traffico di carico, da un valore di 70 a 900 μ s.

I risultati ottenuti da misure analoghe a questa sopra descritta, effettuate su connessioni con traffico di tipo *VBR* utilizzando i parametri caratteristici di un traffico di tipo *CBR*, suggeriscono l'utilizzo della funzione di *traffic shaping* all'interfaccia di Utente (*UNI*) ed alla interfaccia *ICI* (*Inter Carrier Interface*) tra le reti. Questa funzione

<i>CDV</i> (μ s)	Carico %
70	27
150	34
400	42
600	49
900	64

Tabella 1 Valori di *CDV* per perdita nulla di celle osservati su una interfaccia *UNI* per una sorgente *CBR* di 4 Mbit/s.

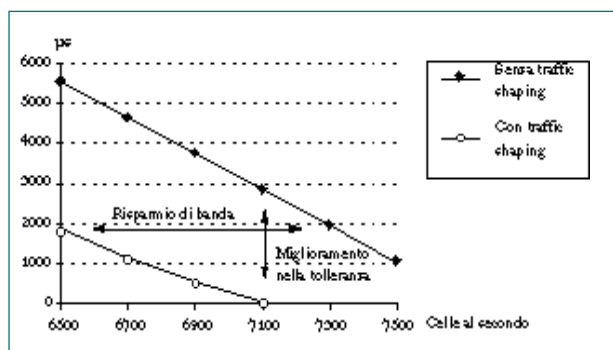


Figura 2 Miglioramento introdotto dalla funzione di traffic shaping sulla variazione del ritardo delle celle (CDV) in una sorgente a tasso di bit variabile (VBR).

permette di alterare le caratteristiche di traffico del flusso di celle trasportato da una connessione ATM (VPC o VCC), in modo da consentire un più efficiente sfruttamento delle risorse di rete garantendo, nel contempo, la conformità ai parametri di policing ed il rispetto degli obiettivi di Qualità del Servizio concordati tra Gestore e Cliente. Attraverso un meccanismo di memorizzazione e ritrasmissione delle celle è possibile, ad esempio, ottenere una riduzione del *PCR* (*Peak Cell Rate*), della CDV o una limitazione della lunghezza dei burst.

La fig. 2 mostra la CDV misurata alla UNI per celle di una connessione di prova in funzione della banda ad essa assegnata nella UNI. Alla connessione di prova è stato offerto traffico TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) con AAL 5 [6], caratterizzato da una banda media compresa tra 2000 e 3000 celle/s e da picchi di circa 7700 celle/s, nel caso in cui la funzione di traffic shaping sia assente. L'ordinata della figura rappresenta anche il minimo valore da attribuire alla tolleranza della CDV (CDVT), per ogni dato valore di banda assegnata alla connessione nella UNI, in modo che il relativo policer non scarti alcuna cella.

La stessa figura mostra il netto miglioramento delle caratteristiche di traffico della connessione di prova nella UNI grazie all'uso della funzione di traffic shaping da parte dell'utente: infatti, si osserva che, per valori di banda assegnata alla connessione di 7100 celle/s, la funzionalità di traffic shaping riduce la CDV da 2900 µs a zero. Per un valore di CDV di 1900 µs si rende possibile invece una diminuzione della banda assegnata da 7300 celle/s a 6500 celle/s, con un risparmio di banda del circa l'undici per cento.

Ulteriori studi sono oggi in corso per analizzare statisticamente il traffico prodotto dalle sorgenti reali ed ottenerne una caratterizzazione in termini di banda di picco e CDV.

L'analisi della CDV introdotta dalla rete è stata effettuata su connessioni di prova a tasso di bit costante (CBR). In Tab. 2 sono presentati i valori di

CDV introdotti dalla rete nel caso di due connessioni CBR con banda rispettivamente di 400 e 4000 celle al secondo dopo avere attraversato uno e due ripartitori numerici ATM in assenza di traffico di carico. La tabella mostra un incremento della CDV introdotta dalla rete proporzionale al numero di permutatori attraversati.

L'incremento di CDV registrato in assenza di carico, è dovuto al ritardo introdotto sulle celle dall'overhead del livello fisico. Questo ritardo, che in ingresso all'apparato ATM può essere di uno o due ottetti al massimo per una interfaccia a 34 Mbit/s, in uscita si traduce in un tempo di cella (12,5 µs a 34 Mbit/s) in quanto l'interfaccia di uscita, se la cella non è completamente disponibile per la trasmissione, invia una cella di riempimento (celle *idle*).

La necessità di stimare il comportamento della rete in presenza del traffico ha spinto verso l'elaborazione di modelli che consentissero il dimensionamento delle risorse di rete. In questo campo sono state eseguite un insieme di prove sperimentali per ottenere un modello della rete basato sulla dimensione di "coda equivalente" associata ad ogni elemento di rete. Date le diverse architetture di commutazione utilizzate negli apparati di rete è stato ipotizzato di configurare genericamente ogni porta dei nodi con una "coda di uscita" e di osservare per ogni nodo una sola delle uscite. Caricando una delle porte di uscita con traffici a burst, provenienti da

Banda connessione (celle al secondo)	Massima CDV riscontrata	
	dopo un nodo ATM (µs)	dopo due nodi ATM (µs)
400	12,8	25,9
4000	12,8	26,3

Tabella 2 Variazione del ritardo delle celle (CDV) su due connessioni lungo la rete.

due delle porte di ingresso (durante la prova il Policing deve essere disabilitato), è stata individuata la massima lunghezza di burst che non causa perdita di celle nel nodo. La coda equivalente è definita come la lunghezza massima di tale burst. In Tab. 3 sono mostrati i valori di coda equivalente stimati per vari tipi di permutatori/commutatori ATM.

Apparato	Coda equivalente per porte a 34 Mbit/s (numero di celle)	Coda equivalente per porte a 155 Mbit/s (numero di celle)
Alcatel A1000AS	200	62, 64
Alcatel 1000 AX	53, 54	-
Ericsson	-	> 58
Fore	256	-
Siemens	59	> 102

Tabella 3 Stima della "coda equivalente" per vari tipi di apparati ATM

<i>n° di riferimento</i>	<i>Durata (h,min)</i>	<i>CER</i>	<i>CLR</i>	<i>SECBR</i>	<i>OI (numero)</i>	<i>UR (%)</i>
1	264, 52	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$8,4 \cdot 10^{-6}$	133	0,29
2	88, 15	0	$5,6 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	102	2,97
3	209, 10	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-5}$	84	0,1
4	324, 18	$7,4 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	276	2,08
5	262, 21	0	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$	170	1,73
6	216, 0	0	$5,5 \cdot 10^{-10}$	$4,9 \cdot 10^{-7}$	41	0,015

Tabella 4 Misure di prestazione effettuate su sei connessioni per quindici giorni.

3.3 Misure di prestazione su connessioni VP

Le misure di prestazione sono state effettuate su connessioni con bande ad elevata velocità di cifra (di vari Mbit/s) che attraversavano parecchi ripartitori numerici, in numerosi periodi nel corso del 1995. I risultati sono stati elaborati per fornire dati secondo i parametri di prestazioni normalizzati [7][8]. L'elaborazione dei dati a posteriori per misure di disponibilità è stata basata su tre livelli di analisi:

- misura della disponibilità in termini di percentuali di tempo e frequenza dei fuori servizio;
- conteggio dei burst di celle errate e celle perse per la misura dell'*SECBR* (*Severely Errored Cell Block Ratio*) durante il periodo di disponibilità;
- calcolo del *CLR* (*Cell Loss Ratio*) e del *CER* (*Cell Error Ratio*) nel periodo di disponibilità escluso i periodi già considerati nella misura del *SECBR*.

In Tab. 4 sono presentati i risultati ottenuti con misure della durata di quindici giorni fatte su sei differenti connessioni con banda di picco di 1 Mbit/s. Le prime cinque connessioni comprendevano una rete locale d'Utente e molti transiti nella rete ATM europea mentre la sesta si riferisce all'Esposizione Telecom'95 (Ginevra 2 ottobre - 11 ottobre '95) ed è consistita in un collegamento in loop tra Parigi e Ginevra senza transiti intermedi. Si osserva che i valori di *SECBR* rimangono molto alti (intorno a 10^{-6}) e che i valori di *CER* e *CLR* non sono lontani dai valori teorici attesi (intervallo $10^{-7} \div 10^{-10}$).

I valori elevati di *SECBR* possono essere attribuiti a due principali cause: in primo luogo i degradi trasmissivi, considerati come la causa principale di perdita di celle, ed in secondo luogo i periodi di congestione dovuti, come già si è detto, all'utilizzo di algoritmi di controllo del traffico (algoritmi di *Policing*) non standard o di sorgenti VBR che non utilizzavano le funzionalità di traffic shaping. I valori di indisponibilità *OI* (*Outage Intensity*) e *UR* (*Unavailability Ratio*) sono forse un po' più elevati di quelli attesi, ma occorre considerare la natura sperimentale della rete con il ricorso a procedure di gestione spesso manuali. La sesta connessione presenta dati di disponibilità indubbiamente migliori dovuti alla maggiore attenzione prestata per l'importanza dell'Esposizione Telecom'95, avvicinandosi così a valori obiettivo di una rete ATM commerciale.

L e prime indicazioni per il Gestore

4. Indicazioni emerse dal punto di vista operativo

Le indicazioni emerse dai rapporti stilati dagli Utenti Pilota durante la sperimentazione, sono state integrate con i riscontri che Telecom Italia ha potuto ricavare nel corso dell'esercizio sperimentale della rete ATM nazionale e, in cooperazione con gli altri Gestori del MoU, di quella europea.

I risultati emersi hanno ribadito o permesso di comprendere più a fondo aspetti legati alle complesse funzionalità ed alla operatività delle reti ATM.

4.1 Stabilità dei ripartitori numerici ATM

Le prove di qualificazione, collaudo ed esercizio dei sistemi ATM hanno permesso, nel corso della fase Pilota, di identificare nella instabilità di alcuni ripartitori numerici di prima generazione l'aspetto su cui concentrare la maggior parte dell'attenzione.

Questo problema si è presentato nel ripartitore numerico utilizzato anche come gateway internazionale verso la rete europea, quindi sottoposto ad intenso traffico, comportando principalmente la perdita improvvisa di comunicazione tra le funzionalità di controllo e quelle di trasporto dell'apparato. L'inconveniente principale che ne derivava era l'impossibilità, da parte dell'operatore, di impartire nuovi comandi all'apparato (ad esempio per la creazione o la cancellazione di permutazioni, in concomitanza con l'istaurazione o l'abbattimento di alcune connessioni ATM, oppure per la visualizzazione di maschere di controllo sul terminale operatore). La soluzione temporanea del problema si poteva conseguire solo attraverso un blocco e ripartenza (restart) del sistema (circa 45 minuti) con la conseguente interruzione di tutte le connessioni in quel momento attive.

Il problema della stabilità, benché progressiva-

mente migliorata nel tempo per effetto delle successive modifiche di tipo software ed hardware rilasciate via via dai Costruttori, ha convinto alcuni di essi a procedere ad una sostituzione dei sistemi (ad es. Alcatel ha sostituito il prodotto A1000AS con quello in tecnologia 1000AX notevolmente più stabile).

Gli altri sistemi (Italtel ed Ericsson) hanno mostrato un buon livello di stabilità, benché verifiche più attendibili potranno essere eseguite in condizioni operative ad elevato traffico reale e con una intensa attività di permutazione.

4.2 Interoperabilità in ambito multivendor.

Le verifiche in ambito nazionale ed europeo hanno confermato un accettabile grado di conformità a livello ATM VP tra i sistemi di diversi Costruttori. Andrà invece attentamente valutata l'interoperabilità dei sistemi per quanto concerne altre funzionalità (ad esempio: trattamento dei flussi OAM F4 e F5) non ancora disponibili o disponibili in modo parziale e/o proprietario nei vari sistemi in campo.

4.3 Funzionalità OAM nella rete.

Gli strumenti utilizzati nel corso delle prove Pilota, in ambito nazionale ed internazionale, per la gestione dei guasti sono stati prevalentemente: apparati di misura (prototipici e commerciali) situati presso le centrali ATM, segnalazioni di livello fisico provenienti dalle porte dei singoli ripartitori numerici ATM, uso di connessioni permanenti di prova, telefono e fax. Gli apparati di misura disponibili sono stati utilizzati per effettuare, quando possibile, anche prove di monitoraggio delle prestazioni del livello ATM attraverso collegamenti e ripartitori numerici ATM internazionali. Nel corso di quest'anno sono state intraprese azioni tese al miglioramento delle funzionalità di esercizio, manutenzione e gestione della rete. I Costruttori sono d'altra parte impegnati allo sviluppo di tutte le funzionalità di OAM con i primi rilasci già previsti per il 1997.

4.4 Aspetti di controllo del traffico.

La rete Pilota europea consente il trasporto con la modalità indicata come classe ⁽¹⁾ DBR (*Deterministic Bit Rate*, secondo la corrente terminologia ITU-T)[5] caratterizzata dall'aver attuato l'allocazione ed il controllo della banda sulle connessioni a livello di picco. Questa classe di trasporto è l'unica consentita dalla maggior parte dei permutatori ATM ad alta capacità basati sugli standard e può essere utilizzata per trasferire qualunque tipo di traffico a velocità di cifra sia costante sia variabile, anche se, in termini di ottimizzazione nell'uso delle risorse di rete, risulta ottimizzata soltanto per il trasporto del primo tipo di traffico. In un notevole numero di casi, le sperimentazioni condotte dagli Utenti Pilota europei attraverso la rete risultavano concentrate sull'utilizzo di applicazioni

multimediali basate su protocollo IP con relativo adattamento al trasporto ATM (es.: IP/AAL5/ATM). Queste applicazioni, dal punto di vista del traffico ATM generato, si comportano come sorgenti a velocità di cifra variabile, cioè con velocità di emissione irregolare o, comunque, variabile nel tempo. Queste sorgenti a volte (ad esempio: applicazioni su workstation) hanno un comportamento intermittente con periodi di "silenzio" in cui nessuna cella è trasmessa, alternati a brevi periodi di "attività", in cui il tasso di emissione delle celle può raggiungere picchi elevatissimi. Per trasferire integralmente il traffico generato da queste sorgenti, le connessioni ATM attivate attraverso la rete sono state quindi dimensionate sui picchi. Questa scelta ha comportato uno spreco di risorse allocate ed un conseguente maggiore costo per il Cliente nei Paesi in cui il prezzo del servizio Pilota dipendeva dalla banda utilizzata. Come detto precedentemente si ottiene un'ottimizzazione nell'uso delle risorse attraverso la funzione di *traffic shaping*. Questa funzionalità è stata resa disponibile, nel corso della sperimentazione, in alcuni apparati di accesso ed adattatori ATM prototipici e commerciali utilizzati dai Gestori e/o dagli Utenti Pilota.

Significativo l'esempio di un Utente Pilota svedese, che per utilizzare un'applicazione priva della funzionalità di *traffic shaping* costringeva l'operatore svedese ad allocare una banda di picco pari a 20 Mbit/s ed una τ di 10000 μ s. Sostituendo l'apparato con uno dotato della suddetta funzionalità, è stato possibile impiegare l'applicazione su connessioni di soli 2 Mbit/s di banda e con τ di 250 μ s.

Un più efficiente sfruttamento delle risorse di rete, soprattutto riguardo al trattamento del traffico dati ed ai relativi requisiti di Qualità del Servizio, si potrà, però, ottenere con l'introduzione delle *transfer capability* specificate dall'ITU nella edizione 1995 della Racc. I.371[5] quali la *SBR* (*Statistical Bit Rate*), *ABR* (*Available Bit Rate*), *ABT* (*ATM Block Transfer*), che permetteranno di realizzare modalità di allocazione delle risorse di rete e meccanismi di controllo del traffico differenziati e quindi meglio adattabili alle specifiche caratteristiche dei differenti tipi di applicazioni.

Ancora tanto lavoro ...

5. Conclusioni

La sperimentazione della tecnica ATM attuata in ambito nazionale ed europeo (MoU ATM) ha confermato la capacità delle reti basate sui permutatori ATM di fornire un efficiente servizio di trasporto, sia in area locale sia su scala geografica, adeguato ai requisiti delle applicazioni ad alta velocità per la Clientela Affari.

Le aspettative nei riguardi delle potenzialità della tecnologia ATM sono state in buona misura conforta-

⁽¹⁾ Nella terminologia ATM Forum tale classe è identificata con la denominazione CBR (*Constant Bit Rate*).

RISULTATI IN CAMPO

ATM ok come tecnologia:

- che "integra" svariati contesti applicativi dei singoli Clienti;
- per il trasporto veloce a grande distanza (migliaia di chilometri).

te dai risultati della sperimentazione. Anzitutto la possibilità di soddisfare, senza alcun limite, i requisiti di banda (disponibile tra 2 Mbit/s e 155 Mbit/s) necessaria per tutte le applicazioni video e multimediali finora sperimentate dagli Utenti Pilota.

E' stata anche verificata la flessibilità derivante dalla possibilità di modulare, con granularità molto fine, i parametri di traffico di una connessione ATM in modo da adeguarla efficacemente alle esigenze specifiche degli Utenti Pilota ed ai requisiti delle applicazioni da essi utilizzate.

Inoltre è stata dimostrata la capacità dell'ATM di consentire il trasporto ed il trattamento integrato (in termini di moltiplicazione e commutazione) in rete locale e geografica di ogni tipo di informazione di utente. Attraverso gli apparati d'accesso, i server di rete, le unità di interlavoro che si sono rese disponibili nel mercato dei prodotti ATM, è possibile integrare sul trasporto ATM tutti i servizi oggi disponibili per la Clientela Business (ad esempio: servizi dati SMDS/CBDS, Frame Relay, IP, circuiti dedicati), preservando, ove necessario, anche l'impiego delle preesistenti reti specializzate. Nell'ambito della sperimentazione europea, è stata, ad esempio, dimostrata la possibilità di trasferire dati ed instradare comunicazioni audio-video tra Utenti attestati a reti ATM ed Utenti attestati a reti SMDS. In un prossimo futuro la tecnica ATM potrà essere utilizzata per fornire anche i servizi multimediali interattivi per l'utenza residenziale ed i servizi di fonia.

Un altro tipo d'integrazione consentita dalla tecnica ATM è quella tra reti locali (LAN) e reti geografiche (WAN). Nel corso della sperimentazione gli Utenti Pilota hanno condotto le loro sperimentazioni utilizzando, nella maggior parte dei casi, reti locali tradizionali o ATM collegate alla rete ATM pubblica, senza, fra l'altro, riscontrare variazioni significative, dal punto di vista della qualità percepita, nel passare dall'ambito sperimentale locale a quello geografico. La sperimentazione ha però posto in luce che l'offerta di servizi in tecnica ATM richiede un'attenta armonizzazione tra i sistemi di rete e gli apparati d'utente al fine di ottimizzare le prestazioni offerte (ad esempio: un miglioramento può essere ottenuto con funzionalità quali il traffic shaping).

Facendo riferimento, infine, alle soluzioni allineate alle normative tecniche ITU, ETSI ed EURESCOM gli apparati utilizzati hanno assicurato, in ambito multivendor, le funzioni di base del trasporto ATM (quali ad esempio: la moltiplicazione e permutazione di connessioni virtuali, allocazione della banda a livello di picco, adattamento del trasporto ATM a quello tra-

smisivo plesiocrono e sincrono). Per quanto riguarda altre prestazioni di rete quali: funzionalità OAM di supporto al monitoraggio delle prestazioni, gestione dei guasti, gestione di rete, modalità di trasferimento e *QoS* (*Quality of Service*) differenziate, le soluzioni oggi sono solo in parte disponibili e di tipo proprietario.

La rete Pilota ATM europea ha senza dubbio costituito il "banco di prova" per numerosi progetti ad alto contenuto innovativo per lo sviluppo e la sperimentazione di numerose applicazioni multimediali, prevalen-

ATM...ANCORA TANTO LAVORO

Funzionalità da introdurre, aspetti da investigare, quali ad esempio:

- commutazione (segnalazione);
- allocazione dinamica della banda e meccanismi di controllo differenziato del traffico (ad esempio ABR);
- Operation Administration and Maintenance (OA&M);
- tariffazione.

temente per la Clientela Affari, con requisiti di trasporto ad alta velocità. Tra i settori applicativi maggiormente coinvolti sono stati quelli manifatturiero, medico, editoriale, turistico, dell'istruzione e della ricerca. Gli Utenti Pilota hanno generalmente molto apprezzato le possibilità di impiego di tali applicazioni in un contesto di interconnessione geografica pan-europea ad alta velocità. Ma va segnalato che l'utilizzo della rete ATM è avvenuto in un ambito di sperimentazione tecnologica promosso, da un lato, da finanziamenti erogati dalla Commissione Europea ai vari progetti d'Utente, dall'altro, dalla possibilità di accedere ai servizi su ATM in ambito nazionale ed internazionale a tariffe scontate o addirittura simboliche ("contributi alla sperimentazione"). Resta quindi ancora da valutare la effettiva risposta del Mercato ad un'offerta di servizi ATM nazionali ed internazionali a prezzi commerciali, man mano che questi si renderanno disponibili.

Abbreviazioni

AAL	ATM Adaptation Layer
ABR	Available Bit Rate
ABT	ATM Block Transfer
ACTS	Advanced Communications Technologies and Services
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CAD	Computer Aided Design
CAT	Cell Arrival Time
CBDS	Connectionless Broadband Data Service
CBR	Constant Bit Rate

CDV	Cell Delay Variation
CER	Cell Error Ratio
CLR	Cell Loss Ratio
DBR	Deterministic Bit Rate
DSU	Data Service Unit
ESPRIT	European Strategic Programme for R&D in Information Technology
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EURESCOM	European Institute for Research and Strategy Studies in Telecommunication
GARR	Gruppo Armonizzazione Reti della Ricerca
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunications Union
LAN	Local Area Network
MPEG	Moving Picture Expert Group
MoU	Memorandum of Understanding
NNI	Network Node Interface
OAM	Operations, Administration and Maintenance
OI	Outage Intensity
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
QoS	Quality of Service
RACE	Research and Technology Development in Advanced Communications Technologies in Europe
SBR	Statistical Bit Rate
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SECBR	Severely Errored Cell Block Ratio
SMDS	Switched Multimegabit Data Service
TCP	Transmission Control Protocol
TEN-IBC	Trans European Networks - Integrated Broadband Communications
UNI	User Network Interface
UDP	User Datagram Protocol
UPC	Usage Parameter Control
UR	Unavailability Ratio
VBR	Variable Bit Rate
VC	Virtual Channel
VCC	Virtual Channel Connection
VP	Virtual Path
VPC	Virtual Path Connection
WAN	Wide Area Network

Bibliografia

- [1] Mou ATM, Memorandum of Understanding, 1992.
- [2] Buttinelli D.; Pennestrì B.; Serafini D.: *La sperimentazione Italiana nel contesto della rete Pilota ATM europea*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», anno 5, n.1, maggio 1996.
- [3] *PWG Final Report*. Dicembre 1995.
- [4] Castelli P.; De Giovanni L.; Vittori P.: *Controllo del traffico e della congestione nella rete B-ISDN*. Articolo in preparazione per il «Notiziario Tecnico Telecom Italia».
- [5] Racc. ITU-T, I 371: *Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN*, Ginevra, luglio '95.
- [6] Garetti, E.; Pietroiusti, R.: *ATM-Aspetti generali*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», anno 5, n.1, maggio 1996.
- [7] Racc. ITU-T, I356: *B-ISDN ATM Layer Cell Transfer Performance*. Novembre '93.
- [8] Racc. ITU-T, I357: *B-ISDN Semi Permanent Connection Availability*. Maggio 96.



Domenico Serafini. Laureato in Ingegneria Elettronica, dopo quattro anni trascorsi come progettista di sistemi nell'industria manifatturiera (Elettronica SpA ed Alcatel FACE), nel 1987 è entrato nella Ricerca e Sviluppo della SIP (oggi Telecom Italia) occupandosi dello sviluppo della Rete Pilota ISDN e dell'avvio del Servizio su larga scala. Dal 1992 si è dedicato allo sviluppo di due grandi progetti pan-europei (la rete METRAN e la realizzazione dell'European ATM Pilot).

Dal 1994 ha assunto la responsabilità del settore centrale "Progetto Sviluppo Rete Pilota ATM" nell'ambito della Linea Tecnologie e Architetture della Divisione Rete.



Bruno Pennestrì si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Roma "La Sapienza". E' entrato nel 1992 a far parte della Linea Ricerca e Sviluppo della SIP (oggi Telecom Italia), dove opera nell'ambito delle attività del settore Rete e Servizi. Dal 1994 opera nel contesto di diverse attività nazionali (sviluppo Rete Pilota ATM nazionale) ed internazionali (MoU ATM-European ATM Pilot/Pilot User Contact Point Operational Working Group/Technical Working Group)

legate alle sperimentazioni su rete geografica della tecnologia ATM.



Pier Francesco Vincenti, laureato in Ingegneria Elettronica, nel biennio 1991 - '92 ha collaborato con la Fondazione Ugo Bordoni nel campo della qualità di trasmissione nei sistemi della Gerarchia Numerica Sincrona SDH. Nel '93 è stato assunto in IRI TEL (oggi Telecom Italia) dove si è occupato delle attività di esercizio e manutenzione dei sistemi di trasmissione PDH ed ha seguito il collaudo dei primi sistemi di linea SDH a 2,5 Gbit/s installati in Italia. Dal gennaio '95 fa parte della Linea Tecnologie e Architetture ed opera nel settore Progetto Sviluppo della rete Pilota ATM.

Conferenze

Parola d'ordine: Information Technology

V IEEE Network Operations and Management Symposium NOMS '96

Enrico Bagnasco, Nicola Iorio

Logo della
manifestazione.



“GESTIRE L'ERA INFORMATICA NELLA SUA GLOBALITÀ”: QUESTO IL MOTIVO CONDUTTORE DELLA QUINTA EDIZIONE DEL NOMS NETWORK OPERATION AND MANAGEMENT SYMPOSIUM, IL MAGGIORE CONGRESSO MONDIALE SULL'ESERCIZIO E SULLA GESTIONE DI RETI E SERVIZI, TENUTOSI A KYOTO (GIAPPONE) DAL 15 AL 19 APRILE 1996. I PARTECIPANTI EFFETTIVI SONO STATI 524, IN RAPPRESENTANZA DI OLTRE VENTI PAESI: UN NUMERO ELEVATO, AL DI SOPRA DELLE ATTESE, CONSIDERANDO CHE PER LA PRIMA VOLTA IL CONGRESSO ERA ORGANIZZATO FUORI DAGLI STATI UNITI. NEL CORSO DEL CONVEGNO, OLTRE ALLE QUATTORDICI MEMORIE INVITATE ED AI NOVE TUTORIAL, SONO STATI PRESENTATI NOVANTA ARTICOLI IN VENTUN SESSIONI PARALLELE ED IN DUE POSTER SESSION. IL CONGRESSO È STATO COMPLETATO DA UNA VISITA TECNICA PRESSO IL “KANSAI SCIENCE CITY”, CON DIMOSTRAZIONI DI APPLICATIVI DI TV INTERATTIVA, TELEDIDATTICA DA REMOTO ED ACCESSO A BIBLIOTECHE MULTIMEDIALI.

LA DELEGAZIONE ITALIANA, COMPOSTA DA RAPPRESENTANTI DI TELECOM ITALIA, CSELT, TELESOFIT E DI SODALIA, HA PARTECIPATO ALLA CONFERENZA PRESENTANDO UN LAVORO AD INVITO NELLA SESSIONE DI APERTURA, TRE MEMORIE NEL CORSO DELLE SESSIONI ORDINARIE, DUE NELLE POSTER SESSION ED UNA DEMO, ED HA ANCHE COLLABORATO ALL'ORGANIZING E TECHNICAL COMMITTEE, E PRESIEDUTO DUE SESSIONI CON ROBERTO SARACCO E LAURA CERCHIO.

Riflessioni generali

Il tema del congresso 1996, Managing the Global Information Age, è stato sviluppato nei diversi aspetti tecnologici, architetturali, di elaborazione e di modifiche alle strutture organizzative che stanno caratterizzando l'evoluzione dalla gestione dei singoli apparati di rete verso la gestione integrata dei servizi multimediali del prossimo futuro. Infatti, da un confronto con le ultime tre edizioni del congresso -tenutosi a Memphis nel 1992, ad Orlando nel 1994, ed a Kyoto nel 1996- emergono alcune osservazioni di rilievo.

Al NOMS '92 gli aspetti software erano praticamente assenti; nell'edizione del 1994, poi, furono tenuti solo tutorial su architetture software innovative quali TINA (Telecommunications Information Networking Architecture) e ODP (Open Distributed Processing) e fu dedicata una sola sessione alle piattaforme software per la gestione e l'uso di sistemi esperti. In questa edizione, invece, sono state ben cinque le sessioni completamente dedicate ad aspetti di *Information Technology*.

A Memphis, nel 1992, erano stati presentati diversi contributi sulla TMN (Telecommunications Management Network) soprattutto provenienti dall'Europa; oggi la TMN è considerata alla base della gestione in tutto il mondo delle TLC. Tuttavia, alla proposta tipicamente gerarchica del TMN si va progressivamente sostituendo un'architettura “piatta e distribuita”, costituita da sistemi cooperanti. Alcuni costruttori, ad esempio Lucent Technologies, Nortel, hanno anche sottolineato l'intenzione di far crescere “l'intelligenza gestionale” interna degli apparati di prossima generazione, per aumentarne le funzionalità di autodiscovery, autodiagnosi, self-healing e per eliminare il livello degli OS di Element Management. La maggioranza degli articoli riguardavano la gestione degli elementi di rete. Nel 1994 ad Orlando l'attenzione si era concentrata sulla gestione della rete vista nella sua globalità, mentre nell'edizione tenuta quest'anno l'interesse è stato spostato sulla gestione dei servizi. E' stato anche posto in evidenza come la gestione debba essere vista non solo come un costo da ottimizzare, ma anche come una possibilità di business. Infine, è stato confermato che la gestione tra terminali (end-to-end) costituisce un obiettivo primario da perseguire: oggi questa visibilità complessiva richiede di operare su una molteplicità di reti a seguito della presenza di diversi Gestori.

Punti di rilievo emersi dal congresso

Nel congresso sono stati posti in evidenza i risultati ottenuti nel contesto di attività di ricerca e di normativa, nonché alcuni aspetti tecnologici. Presentate, invece, in misura più limitata le esperienze e soluzioni adottate dai Gestori, a fronte sia delle nuove tecnologie in corso di inserimento in rete (ad esempio SDH, ATM, HFC, FTTB, IP, DECT), sia dei nuovi servizi offerti (ad esempio broadband on-line, VOD, PCS) ed anche in termini di nuove proposte da parte dei maggiori costruttori.

Il BPR (Business Process Reengineering), la revisione cioè dei processi di ideazione, esercizio e manutenzione della rete, è stato uno dei temi maggiormente trattati, in particolare nelle panel session. Anche in questo caso è però mancata l'informazione relativa ai risultati ottenuti in casi "reali" di reingegnerizzazione, in termini di effettiva riduzione di costi, di Centri di Lavoro o di persone. Molti si sono dichiarati convinti che in questo periodo di transizione, caratterizzato da variazioni del contesto di regolamentazione -da monopolistico a mercato competitivo-, delle tecnologie utilizzate, dei servizi offerti e dei ruoli tra i diversi attori presenti nel sistema TLC (Gestori della rete, fornitori di servizi, produttori di contenuti), tutti i "tradizionali Gestori" dovranno rivedere profondamente il loro modello di business.

Diversi gli articoli e le presentazioni relativi alle attività svolte sugli standard, ma in varie occasioni i presenti hanno lamentato la mancanza di riferimenti normativi stabili o di standard effettivamente accettati e sviluppati. Nonostante i diversi sforzi fatti per snellire e rendere più efficiente il processo di normalizzazione (ad esempio Network Management Forum, ATM Forum [1]), molti interventi hanno messo in luce un disallineamento tra quanto dibattuto nel contesto normativo e quanto ritenuto oggi di interesse effettivo dai Gestori o proposto dai Costruttori.

Tra le idee più innovative presentate, la proposta di utilizzare Java come middleware (software di base) della piattaforma dei sistemi di gestione per poter interconnettere in modo trasparente le diverse applicazioni e realizzare quindi un terminale Operatore "universale", come TUR/OASIS di Telecom Italia. Questa proposta ricalca la tendenza generale verso applicazioni "Intranet": ossia l'utilizzo di soluzioni Internet nel contesto intra-company. Scelta, peraltro, già presa in considerazione da Telecom Italia, ad esempio in ambito della rete

DACON (la rete tra i diversi Centri di Lavoro ed i sistemi di gestione).

Molto apprezzata la presenza di EURESCOM, l'Istituto di ricerca dei Gestori Europei di reti pubbliche: oltre alla presentazione di memorie, EURESCOM ha allestito due demo relative all'interfaccia tra Gestori (Xcoop), per la gestione di reti ATM ed SDH internazionali, e a quella verso gli utenti (Xuser), per funzioni di Customer Control relativamente al servizio VP (Virtual Path) su reti ATM permutate. Interessante l'affermazione della Telefonica (Gestore pubblico spagnolo): la specifica di interfaccia Xuser costituirà la base su cui realizzare l'offerta customer control in ambito UNISOURCE.

La gestione di reti a larga banda e di servizi multimediali è stato un altro tema trattato in modo diffuso, anche se principalmente dal punto di vista "accademico", con la presentazione di realizzazioni sperimentali in ambito di laboratorio e di università. In particolare nel contesto universitario sono ora in corso molti studi in ambienti "Broadband Internet" realizzati su reti locali, ad esempio FDDI (Fiber Distributed Data Interface). Numerose le presentazioni, in particolare di autori giapponesi, sulle reti di accesso ottiche, ma anche queste di natura essenzialmente prototipica. In queste presentazioni si proponeva comunque la piena adozione degli standard TMN ora disponibili.

Tra gli interventi ancora da segnalare: quelli di *Larry Bernstein* (AT&T Vice President, Network Operations Platform), sull'evoluzione della gestione. Il relatore ha affermato che il futuro appartiene a quei fornitori di servizio (Service Provider) che investono nella architettura di rete, fornendo servizi migliori ad un costo inferiore e stimolando, al contempo, la crescita delle applicazioni che impieghino la larga banda (bandwidth consuming). Oggi i Gestori di successo hanno problemi a rivedere pesantemente l'architettura di rete, perché questa revisione richiede una discontinuità con il presente, mentre risulta più semplice l'innovazione evolutiva. I Gestori che avranno successo cambieranno il loro modo di pensare: da commutazione, trasmissione e sistemi di gestione ad instradamento, trasporto e "network management", poiché le nuove reti telefoniche saranno molto più simili a reti di computer. Le nuove architetture di rete semplificheranno anche la gestione: gli elementi di rete saranno più affidabili e avranno un ripristino automatico in caso di guasto o degrado. Con il concetto di "rete sempre disponibile" (ready network) spariranno gradualmente i fornitori

Conferenze

di servizi su richiesta del cliente; l'eliminazione di alcuni processi operativi permetterà quindi di fornire servizi a costi inferiori ed in minor tempo.

Molto interessante anche l'intervento di *Sadahi Kano*, NTT Vice President, Network Strategy Planning, sulla proposta di apertura della rete denominata NONA (NTT Open Network Architecture). In aggiunta alle attuali interfacce per collegare i Gestori locali e di lunga distanza concorrenti sono pianificati nel breve termine, uno o due anni, ulteriori punti di interconnessione POI (Point of Interconnection), ad esempio sul permutatore di centrale, verso gli STP della rete a canale comune SS7 e verso diramatori Internet (IP) situati nelle centrali locali NTT. A supporto delle applicazioni dati per l'utenza affari, NTT ha realizzato una rete aperta di elaboratori OCN (Open Computer Network), basata su un'ossatura (backbone) di permutatori numerici ATM e di diramatori IP. In futuro è previsto che il backbone ATM sarà utilizzato per fornire giunzioni tra centrali NTT, oltre che verso altri Gestori. Anche la OCN è una rete aperta: sono infatti in corso di definizione diversi tipi di ingressi per l'interconnessione tra cui, ad esempio, sul diramatore NTT e sul permutatore di centrale. E' stata data la possibilità di installare nelle centrali NTT apparati di Gestori diversi. Molte le analogie rilevate con i progetti SOCRATE ed IT 2000 di Telecom Italia, nell'intervento di *Helen Everitt*, Telstra, Full Service Network, sulle diverse iniziative Telstra (architettura di rete, sistemi di elaborazione e di gestione) relative al trasporto dell'informazione a "larga banda". Nel corso del 1995 Telstra ha avviato la realizzazione di una rete HFC (Hybrid Fibre Coaxial), da utilizzare inizialmente per servizi diffusivi analogici. Alla fine dello scorso anno è stato raggiunto l'obiettivo fissato di un milione di abitazioni collegate (passed), che si raddoppieranno entro quest'anno. In aggiunta a questa iniziativa relativa alla CATV, esiste un secondo tipo di sviluppi, denominato FSN (Full Service Network) e finalizzato all'integrazione di CATV e POTS su rete HFC. A tale riguardo sono previste a Melbourne prove in campo a partire dalla seconda metà del 1997, finalizzate soprattutto alla verifica empirica dei nuovi processi e dei sistemi di gestione definiti per la nuova rete nel corso di una azione BPR sulla reingegnerizzazione dei processi di Business: anche Telstra infatti, parallelamente alle iniziative sul fronte rete e servizi, ha avviato un importante progetto di

revisione dei sistemi di gestione e dei processi ad esso legati relativi a costruzione, esercizio e manutenzione della rete.

I prossimi due Congressi NOMS si terranno rispettivamente nel 1998 a New Orleans e nel 2000 alle Hawaii. Molti presenti hanno auspicato che il NOMS successivo sia organizzato in un paese europeo; in particolare è stato chiesto di esaminare la possibilità di far svolgere il Congresso in Italia, considerata all'avanguardia negli sviluppi delle tematiche discusse dal NOMS.

dott. Enrico Bagnasco - CSELT - Torino; ing. Nicola Iorio - Telecom Italia DG - Roma

Abbreviazioni

BPR	= Business Process Reengineering
FDDI	= Fiber Distributed Data Interface
FSN	= Full Service Network
HFC	= Hybrid Fibre Coaxial
NOMS	= Network Operation and Management Symposium
NONA	= NTT Open Network Architecture
OCN	= Open Computer Network
ODP	= Open Distributed Processing
POI	= Point of Interconnection
TINA	= Telecommunications Information Networking Architecture
TMN	= Telecommunications Management Network

Bibliografia

- [1] Fioretto, G.: *La standardizzazione nelle telecomunicazioni*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Vol. 5, n. 1, maggio 1996, pp. 63-74.

La radio ha cent'anni ma non li dimostra

V Conferenza Europea sui Sistemi Radio Fissi e sulle Reti - 5th ECRR

Marcello Bosica, Mauro Giaconi, Paolo Semenzato

Introduzione

"The radio is one hundred years old, but it doesn't look it!". Così ha detto *Gian Carlo Corazza*, Presidente della Fondazione Guglielmo Marconi, nella seduta inaugurale della quinta Conferenza ECRR (European Conference of Fixed Radio Systems and Networks) per mettere in rilievo la vitalità e la spinta all'innovazione dei sistemi radio.

Anche la scelta di Bologna per questa edizione della ECRR, non è stata casuale: la Conferenza è stata infatti inserita nell'ambito delle manifestazioni per i "cento anni della radio", tenute in questa città che diede i natali a Guglielmo Marconi e nella quale furono realizzati con successo, da questo grande inventore italiano, i primi esperimenti sulla propagazione e sulla ricezione di onde elettromagnetiche. Organizzata dal 14 al 17 maggio 1996 dall'AEI (Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana) in collaborazione con le corrispondenti associazioni europee (EUREL, FITCE, IEE, SEE, SEV, VDE) e con il supporto di Telecom Italia, Italtel-Siemens, Alcatel, Bosch, Siae Microelettronica, la Conferenza è stata presieduta da *Rocco Casale* di Telecom Italia ed ha visto la partecipazione di circa duecentocinquanta delegati provenienti da ventuno Paesi. Essa ha avuto un notevole successo, testimoniato sia dall'assiduità con la quale i delegati hanno seguito le varie sessioni, dal numero di domande poste al termine di molte esposizioni, ed, anche, dall'elevato numero di contributi presentati, accolti solo in parte. L'ECRR continua a rappresentare, come affer-

mato in apertura, da *Umberto de Julio* -Condirettore Generale della STET- "un prezioso momento di incontro e di verifica tra Gestori di telecomunicazioni, costruttori e ricercatori, sugli aspetti più significativi dell'evoluzione della trasmissione radio, che attualmente vive una nuova stagione fervida di iniziative e di innovazioni". Fra gli elementi di novità, gli enormi sviluppi della telefonia mobile, i quali richiedono l'attivazione, in tempi brevi, di un gran numero di collegamenti fra le stazioni radio base ed i punti di accesso alla rete, che, vista la bassa capacità richiesta e gli stringenti tempi di realizzazione, è conveniente, molto spesso, realizzare in ponte radio. Accanto a questo impiego nasce l'interesse per le tecniche radio in rete d'accesso, per fornire, in prospettiva, servizi ad elevata interattività, anche di tipo multimediale. Tutto ciò, affiancato alla necessità di disporre di backup radio ad alta velocità per i sistemi in fibra, fa sì che per il settore radio si preveda uno sviluppo sistemistico e tecnologico notevole, con applicazioni anche di tipo interattivo.

Questi i risultati più significativi e gli aspetti più stimolanti.

Seduta inaugurale:
da sinistra
Umberto de Julio,
Rocco Casale,
Gian Carlo Corazza
e **Tim Hewitt.**



Il mercato dei sistemi radio

I ponti radio rivestono un ruolo importante nei Paesi ad alta densità telefonica, sia nella rete di trasporto, dove per ragioni economiche non risulta conveniente la posa della fibra ottica e comunque per creare collegamenti di backup, sia nella rete di accesso, dove il collegamento radio esplica i suoi punti di forza per flessibilità e rapidità di installazione, riuscendo anche a fornire servizi a larga banda. Lo sviluppo dei ponti radio è quindi strategico, in quanto consente la realizzazione di nuove reti in tempi rapidi con costi competitivi. In questo scenario, di particolare rilievo è stato l'intervento

di apertura di *Umberto de Julio* che ha presentato anzitutto l'attuale situazione del mercato italiano dei sistemi radio (tab. 1).

A fronte di un incremento globale delle vendite, il relatore ha messo in luce il cambiamento della ripartizione tra mercato nazionale ed estero; ed ha tratto due importanti conclusioni: in primo luogo la conferma che la tecnologia i-

Conferenze

	1993	1994	1995	1996
<i>Numero di trasponditori</i>	14.900	18.140	22.200	25.750
<i>Mercato nazionale</i>	18%	17%	13%	10%
<i>Mercato Internazionale</i>	82%	83%	87%	90%

Tabella 1 Produzione dei sistemi in Ponte Radio in Italia.

italiana nel settore radio è del tutto competitiva, in secondo luogo il ruolo sempre più incisivo dei ponti radio nei paesi in via di sviluppo, che consentono loro un rapido decollo delle reti numeriche ad alta capacità. Il mercato nazionale è comunque vivacizzato dall'effetto della liberalizzazione, poiché i ponti radio permetteranno ai Competitors di realizzare reti di rilievo in tempi brevi.

La vitalità dei ponti radio è anche evidente dai dati della fig. 1 e della tab. 2; sebbene in ambito nazionale solo l'11 per cento dei flussi a 2 Mbit/s sia instradato su ponte radio, coerentemente con la maggiore capacità di trasporto dei cavi ottici, sono in servizio nella rete pubblica italiana più di settemila tratte radio, e di queste le tremilaseicento tratte a 34 Mbit/s testimoniano che una consistente parte dei collegamenti dei centri minori, per motivi orografici, è realizzata con questo mezzo.

Per il prossimo futuro, lo scenario radio dovrebbe arricchirsi a seguito delle necessità correlate allo sviluppo dei servizi multimediali a larga banda, che, pur in buona parte forniti da reti cablate, potranno anche essere trasportati da sistemi radio: basti pensare ad esempio ad applicazioni quali LMDS (Local Multipoint Digital Service) e MMDS (Microwave Multipoint Distribution Service). Per il momento l'accesso radio nella rete di distribuzione, il WLL (Wireless Local Loop), è una realtà con gli standard DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) e CT2 sufficientemente consolidati come tecnologia e pronti al lancio commerciale.

Riguardo la pianificazione in ambito europeo dello spettro elettromagnetico al di sotto di

1 GHz, è opinione comune che la riallocazione delle frequenze, per liberare alcune gamme a favore dei servizi mobili, debba anche tener conto di esigenze tuttora presenti per applicazioni di tipo fisso.

Accesso radio a banda stretta

L'accesso radio a banda stretta è una realtà consolidata; tuttavia il dibattito sulle tecniche di accesso è ancora aperto. Le tecniche Spread Spectrum DS-CDMA (Direct Sequence Code Division Multiple Access) sembrano essere le più adatte in ambienti a forte interferenza, tra stazioni radio adiacenti in aree geografiche con

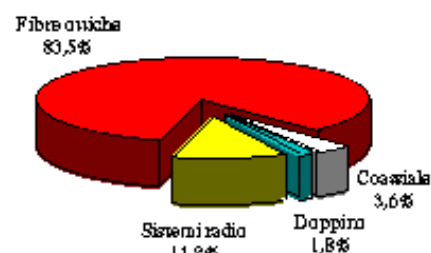


Figura 1 Ripartizione dei flussi 2 Mbit/s per tipo di portante.

elevata densità di utenza. Questa tecnica si basa sulla trasmissione contemporanea, da parte di tutti gli utenti attivi, del segnale numerico opportunamente crittografato attraverso sequenze di bit caratteristiche per ciascun utente, che ne permettono in ricezione la discriminazione. Utilizzando inoltre opportuni codici a correzione di errore, che comunque non peg-

Collegamenti radio		Rete regionale e nazionale			Rete locale		Totale
		2	da 4 a 6	da 7 a 11	13	da 15 a 18	
Numerici	2 Mbit/s					164	164
	8 Mbit/s				106	579	685
	34 Mbit/s	2		317	2905	397	3621
	70 Mbit/s	19		791	4		814
	140 Mbit/s	3	94	1026			1123
	155 Mbit/s		54				54
Analogici	FDM	66	201	430			697

Tabella 2 Consistenza dei collegamenti radio in Italia.

Conferenze

giorano l'efficienza di utilizzo dello spettro, e disattivando la trasmissione negli intervalli di inattività vocale degli utenti, si ottengono miglioramenti rilevanti sul tasso di errore e sulle interferenze tra stazioni adiacenti.

Per il DECT, la tecnica di accesso radio definita dall'ETSI, è prevista una banda di 20 MHz (1880-1900 MHz) suddivisa in 10 canali con accesso FDMA (Frequency Division Multiple Access), ciascuno composto da ventiquattro intervalli temporali con accesso TDMA (Time Division Multiple Access), suddivisi poi in due gruppi da dodici intervalli, utilizzati rispettivamente per trasmettere e ricevere sulla stessa frequenza, con tecnica TDD (Time Division Duplex). In totale, quindi, sono disponibili centoventi canali. La tecnica di assegnazione dinamica del canale, DCA (Dynamic Channel Allocation), consente la scelta del canale migliore tra quelli disponibili e permette il riuso delle frequenze, senza ricorrere a strutture di tipo cellulare a cluster, che richiedono una pianificazione preventiva delle stesse. Questi sistemi consentono anche applicazioni di trasmissione dati ad alta velocità, con capacità variabile, utilizzando l'aggregazione dei time-slot.

In Francia, la TRT ha realizzato più di mille collegamenti, studiando la propagazione in presenza di ostacoli e cammini multipli ed applicando la diversità di spazio per le antenne riceventi. In Gran Bretagna, BT ha in corso di sperimentazione il sistema a standard CT2, differente dallo standard DECT per la tecnica di accesso di tipo FDMA/TDD, per il quale il collegamento fra la stazione radio base e la rete opera su coppie simmetriche fino a 4-6 km. Nonostante il ritardo all'avvio del servizio imposto dagli Enti regolatori, BT è interessata allo sviluppo del sistema, ritenuto oltretutto conveniente, in taluni casi, nell'ipotesi di sostituire l'ultima parte della rete in rame con l'accesso radio.

Gli sviluppi più rapidi nel WLL riguardano i Paesi a più alta deregolamentazione, come la Finlandia, dove la competizione impone soluzioni di rete a basso costo e di facile e rapida

realizzazione. Ne è una dimostrazione il primo servizio commerciale DECT aperto dalla HPY (Helsinki Telephone Company). La tecnologia DECT è inoltre interessante per i futuri sviluppi del PCS (Personal Communication Services), poiché è interfacciabile in linea di principio con il GSM/DCS 1800.

Accesso radio a larga banda

I nuovi servizi diffusivi e interattivi per applicazioni multimediali, con particolari requisiti di velocità di trasmissione, richiedono strutture di trasporto radio adeguate, realizzabili con architetture punto-multipunto. I sistemi radio dovrebbero essere complementari a quelli in fibra ottica, con basse o medie capacità trasmissive, 2, 8, 34 Mbit/s, compatibili con B-ISDN e con alcune applicazioni ATM.

In questo ambito, Bosch Telecom ha presentato un interessante ed originale sistema con accesso FDMA/DBA, che, a costo di una maggiore complessità

circuitale, peraltro superata in modo egregio con l'utilizzo di circuiteria custom, ottimizza l'utilizzo delle ristrette bande a disposizione. Il sistema è costituito da stazioni radio base con antenne omnidirezionali e da stazioni di utente realizzate con antenne direttive. Il modem è estremamente versatile e può lavorare con differenti tipi di modulazione e codifiche, in modo da adattare la capacità trasmissiva richiesta, alle condizioni di propagazione, in maniera dinamica ed adattabile alle esigenze di capacità delle singole sessioni. Le gamme di funzionamento vanno dai 2 ai 26 GHz e il ricevitore è normalmente integrato nel pannello delle schiere di antenne a microstriscia, in una struttura compatta ed a basso impatto ambientale. Tra l'altro, le antenne generano un fascio orientabile elettronicamente e sono installabili a muro.

Alcuni studi relativi alle applicazioni multipunto per la trasmissione dei segnali televisivi diffusivi sono stati presentati nell'ambito dei MMDS: questi sistemi potranno superare in



Un momento della conferenza.

parte i limiti di banda, quando saranno disponibili su larga scala i servizi numerici che permettono di allocare in 8 MHz da 6 ad 8 canali televisivi, con modulazioni tipo 64 QAM e video codificato a standard MPEG2 a 6 Mbit/s. Le applicazioni a frequenze sotto 10 GHz sono limitate, dalla congestione dello spettro, all'ambito rurale o in contesti similari.

Notevole l'attenzione posta all'impiego delle frequenze più alte, dove lo spettro è meno congestionato (28 e 40 GHz), per applicazioni LMDS, tecnica di particolare interesse in ambito urbano e quindi per tratte brevi, in quanto l'attenuazione, elevata ma deterministica, consente un controllo accurato delle interferenze. A tale riguardo, CSELT ha presentato un confronto tra le potenzialità dei sistemi MMDS e LMDS per la fornitura di servizi video analogici e numerici ed ha descritto la metodologia per la copertura della città di Roma. Bosch Telecom ha presentato al riguardo un modello di tipo statistico.

Tecniche di riuso delle frequenze

La saturazione delle bande di frequenza sotto i 13 GHz, utilizzate prevalentemente nelle tratte di media e lunga distanza, spingono verso il riuso di frequenza, impiegando la polarizzazione orizzontale e verticale di una stessa canalizzazione, con modulazioni multilivello complesse. Questa tecnica, detta CCDP (Co-Channel Dual Polarisation), è oggi di pratica applicabilità ed è realizzata dai cancellatori di interferenza da polarizzazione incrociata, XPIC (Cross Polar Interference Canceller). Le gamme di frequenza utilizzate per i collegamenti di lunga e media distanza subiscono infatti affievolimenti selettivi che, tra l'altro, provocano la depolarizzazione dei segnali, con l'effetto che il segnale di una certa polarizzazione interferisce con quello della polarizzazione ortogonale. La cancellazione di interferenza è svolta nel blocco demodulatore, ove il segnale proveniente dalla polarizzazione incrociata, opportunamente stimato, viene sottratto da quello proveniente dalla polarizzazione utile, cancellando così, quasi completamente, l'interferenza. Utilizzando tecniche di modulazione multilivello, ad esempio del tipo 128 TCM (Trellis Coded Modulation), si riesce a trasmettere su ciascun canale radio un segnale 2 $\times$ STM-1. Inoltre, grazie alle tecniche di riuso della polarizzazione, l'efficienza spettrale raddoppia ulteriormente, portando la capacità a 622 Mbit/s (STM-4). In particolare, relativa-

mente alle prestazioni, sono da segnalare i risultati ottenuti in questo ambito con l'uso di XPIC, illustrate da misure effettuate in Svezia, Norvegia e Svizzera. In un contributo di TELECOM e CSELT sono stati presentati rilevanti risultati sperimentali sulla depolarizzazione, utili per comprenderne i meccanismi propagativi e per ricavarne dati statistici. Relativamente alla modellistica, CSELT e Bosch, hanno illustrato le principali caratteristiche di due metodi di previsione delle prestazioni di ponti radio numerici che utilizzano tecniche di riuso di frequenza, con disposizione co-canale e con canale alternato.

Misure in campo sono state effettuate dalla Telia svedese, dalla Telnor norvegese, da Swiss Telecom e da Telecom Italia nella tratta Cigliano-Novara. In particolare, su questa tratta sono stati esaminati gli effetti della propagazione per canalizzazioni di tipo alternato e co-canale. Le misure hanno mostrato la riduzione della percentuale di disservizio in presenza di fading nelle tratte funzionanti con il sistema XPIC, che consente ai ricevitori di tollerare meno di 3 dB di rapporto segnale interferente tra le due polarizzazioni. Al riguardo Alcatel ha effettuato un'interessante dimostrazione con apparecchiature installate nella sede della conferenza.

Prestazioni

In tale ambito, la NTT ha presentato uno studio degli effetti di affievolimenti simultanei su più tratte e sulla loro correlazione, per valutare le prestazioni di un sistema radio non rigenerativo, cioè con ripetitori operanti a frequenza intermedia, senza ricorrere alla rigenerazione del segnale in banda base. Altri contributi hanno riguardato l'impatto dei nuovi parametri di qualità ITU relativi alle raccomandazioni G.826 e G.827 sulle prestazioni dei sistemi, in particolare per quanto riguarda il BBER (Background Block Error Ratio) e il MO (Mean time between digital path Outage). Modelli di predizione sulle prestazioni di errore sono stati presentati da Bosch e CSELT sui sistemi a riutilizzo di polarizzazione.

Ponti radio SDH

Nel campo delle applicazioni SDH, può essere segnalato in particolare il contributo di Alcatel, che ha presentato un sistema radio trasportabile operante nella gamma dei 6 GHz, con interfacce a 155, 140 e 3x34 Mbit/s, mo-

Conferenze

dulazione 32 QAM, codifica MLC (Multi Level Coding) 4,3/5 ed equalizzazione adattativa a 9 taps. Le antenne del diametro di 75 cm, la flessibilità di scelta della frequenza di lavoro, la lunghezza di tratta raggiungibile, 20 km, e le configurazioni possibili (1+0, 1+1, 2+0), rendono particolarmente interessante questo sistema, non solo nelle applicazioni di emergenza (disaster recovery), ma anche per collegamenti temporanei ad alta capacità, grazie alla facilità di installazione.

Nuove tecnologie e progetti

Il mercato dei ponti radio a piccola capacità richiede flessibilità nella scelta delle gamme di frequenza, bassi costi di fornitura e rapidità di installazione: in definitiva si richiedono apparati plug and play. Per tali applicazioni in rete di accesso e nelle gamme da 10 fino a 55 GHz, di rilievo è il sistema proposto da Siemens AG, basato sulla modulazione CPM (Continuous Phase Modulation) rivitalizzata, che, insieme ad uno schema di rivelazione differenziale, permette di diminuire i costi della parte a radiofrequenza e dell'oscillatore, con un lieve aumento del rapporto segnale rumore rispetto a schemi coerenti, a parità di qualità trasmissiva. Usando codici correttori di errore, rivelazione differenziali e decodifica di Viterbi si compensano scostamenti di frequenza della portante fino a 100 kHz, fenomeno frequente nelle apparecchiature da esterno, a causa delle notevoli escursioni di temperatura.

Per i canali radio a larga banda sono state pro-

poste modulazioni del tipo OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), confrontandole con la capacità teorica dei canali. Di notevole rilievo le modulazioni OFDM adattative, cioè quelle per le quali nella banda sono allocate numerose portanti, ciascuna modulata in maniera più o meno complessa in funzione della distorsione presentata alle varie frequenze dal canale.

Per le applicazioni punto-multipunto, Bosch Telecom ha proposto l'utilizzo di antenne planari a schiera in microstriscia, con accorgimenti per ampliarne la larghezza di banda e con rice-trasmittitori integrati: tali antenne consentono di ottenere una buona direttività lato utente con piccolo ingombro e basso costo.

Per quanto riguarda la gamma dei 2 GHz, la CEPT ha riservato questa gamma prevalentemente ai servizi mobili, destinando tuttavia alcune bande di frequenza al servizio fisso. Utilizzando canalizzazioni con passi di 1,75 MHz e 3,5 MHz (come previsto dalla Racc. CEPT T/R 13-01), possono essere trasportati flussi a 4 ed a 8 Mbit/s. Le buone caratteristiche di propagazione di questa gamma, insieme alla lunghezza dei collegamenti realizzabili, rendono questo tipo di applicazione interessante per sistemi in rete di accesso o di trasporto a bassa capacità con lunghe tratte da coprire. Nel corso della conferenza sono stati mostrati alcuni risultati sperimentali effettuati dalla TRT francese.

Italtel ha presentato una nuova famiglia di prodotti, denominata SRAL, per applicazioni a bassa capacità in rete di accesso, caratterizzata da basso costo, facilità di installazione,

**Tavola rotonda
finale presieduta
da Cesare
Mossotto e Kurt
Leuenberger.**



flessibilità nella scelta delle canalizzazioni, disponibilità in varie gamme di frequenze (da 10 a 55 GHz), con evolute prestazioni di monitoraggio della qualità e di gestione, in locale e da remoto. Il modulatore è completamente numerico e adotta la modulazione CPM. L'estrema compattezza delle sezioni a radiofrequenza e di banda base, praticamente in versione da tavolo, ne rende molto interessante l'utilizzo, nell'ottica di fornire il servizio in tempi sempre più rapidi. Un simile approccio è stato seguito dalla SIAE-microelettronica, che ha mostrato una nuova famiglia di prodotti compatti ed a basso costo, a piccola e media capacità, operanti in varie gamme di frequenza (da 13 a 38 GHz), configurabili e gestibili via software.

Conclusioni

Molte delle memorie presentate hanno trattato tematiche relative all'inserimento in rete dei sistemi radio, più che gli aspetti realizzativi dei vari sistemi o riguardanti la propagazione. Questo interesse conferma la validità dell'ampliamento dei temi da trattare in prossime edizioni del simposio.

Il congresso è stato chiuso da due tavole rotonde: "Radio in the access", coordinata da *Cesare Mossotto*, e "Radio in the future networks", coordinata da *Kurt Leunberger*, nel corso delle quali sono stati esaminati molti degli elementi emersi nelle presentazioni degli autori e nelle discussioni successive. I principali argomenti messi in luce hanno permesso di focalizzare le tematiche di seguito esposte in sintesi.

Per i collegamenti radio fissi è auspicabile mantenere le attuali gamme, in modo da garantire la copertura delle più diverse esigenze, e da adottare in misura crescente tecniche di riutilizzo delle frequenze per incrementare la capacità dei collegamenti.

Relativamente ai sistemi radio ad alta capacità, gli sviluppi in corso sono sembrati maggiormente orientati all'impiego di soluzioni tecniche per il riuso di frequenza (co-channel), rispetto a quelle relative a modulazioni molto complesse (ad esempio a 512 o a 1024 livelli).

Sempre riguardo ai sistemi radio ad alta capacità, è emerso l'orientamento diffuso di consolidare gli attuali sviluppi relativi ai sistemi STM1 (155 Mbit/s) e STM4 (622 Mbit/s), già oggetto degli standard europei, in quanto i Gestori pubblici sembrano preferire, per i sistemi ad alta capacità, i portanti ottici. Gli

studi sulle tecniche di modulazione complesse, che rappresentavano uno dei temi maggiormente trattati nelle precedenti edizioni, sembrano quindi essere sensibilmente ridotti. Viceversa, hanno trovato maggiore interesse sviluppi relativi a modulazioni di tipo più semplice, quali il CPM, per applicazioni in ponti radio a piccola capacità. Nelle applicazioni punto-multipunto alcuni Gestori preferiscono le tecniche di accesso del tipo FDMA, altri, privilegiando la possibilità di un maggiore riuso delle frequenze, tecniche del tipo TDMA o CDMA (Code Division Multiple Access).

I sistemi radio possono fornire senza dubbio tutta la capacità trasmissiva necessaria per le applicazioni attuali, che non richiedono una multimedialità spinta; ad esempio è interessante osservare che nella fase di avvio del servizio ISDN non tutte le centrali di commutazione periferiche possono essere equipaggiate, per cui si rende necessario trasferire gli attacchi di utente dalle centrali di accesso a quelle equipaggiate. Per questa applicazione la radio può proporsi a pieno ruolo.

Relativamente alla rete di accesso, nei cataloghi di tutti i costruttori compaiono prodotti per capacità da 2 a 155 Mbit/s, che coprono la maggior parte delle gamme di frequenza e le esigenze dei collegamenti fissi. La rapidità di installazione e la compattezza delle apparecchiature, nonché il basso costo, sono le caratteristiche vincenti per il decollo del mercato in un contesto deregolamentato: oggi i costi di fornitura e di installazione sono ancora troppo elevati e i tempi di fornitura troppo lunghi per innescare il circolo virtuoso della crescita della domanda e del conseguente abbassamento dei prezzi.

Per i Paesi che già dispongono di un'estesa rete di telecomunicazioni le applicazioni sulla rete di accesso sembrano essere più promettenti per i futuri sviluppi della radio e della comunicazione mobile personale. La conquista dei nuovi mercati nei Paesi in via di sviluppo stimola altresì affinamenti tecnologici per i collegamenti punto punto nella rete di trasporto ad alta capacità, dove le infrastrutture radio risultano ancora oggi convenienti e di più rapida realizzazione per costruire reti ex novo.

Un'ultima osservazione riguarda la partecipazione. Il numero dei partecipanti è stato di gran lunga superiore alla precedenti edizioni, segno di un continuo e crescente interesse per i sistemi radio. Viceversa è stata molto limitata la partecipazione attiva dei nuovi Ge-

Conferenze

stori, che, come si è già detto, sono o dovrebbero essere tra i maggiori utilizzatori di questi sistemi.

Abbreviazioni

BBER	=	Background Block Errored Ratio
CCDP	=	Co-Channel Dual Polarisation
CDMA	=	Code Division Multiple Access
CPM	=	Continuous Phase Modulation
DBA	=	Dynamic Bandwidth Allocation
DCA	=	Dynamic Channel Allocation
DECT	=	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DS-CDMA	=	Direct Sequence Code Division Multiple Access
FDMA	=	Frequency Division Multiple Access
LMDS	=	Local Multipoint Digital Service
MLC	=	Multi Level Coding
MMDS	=	Microwave Multipoint Distribution Service
MO	=	Mean time between digital path Outage
OFDM	=	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PCS	=	Personal Communication Services
STM	=	Synchronous Transport Module
TCM	=	Trellis Coded Modulation
TDD	=	Time Division Duplex
TDMA	=	Time Division Multiple Access
XPIC	=	Cross Polar Interference Canceller

Ing. Marcello Bosica -Telecom Italia DTRE C2- Pescara; ing. Mauro Giacconi, ing. Paolo Semenzato -SSGRR- L'Aquila

La rivoluzione multimediale

XXXV Giornate Europee delle Telecomunicazioni

Carla Montanari, Stefano Omiccioli

“Non c'è più alcun dubbio: stiamo assistendo ad una nuova era nel settore dell'informatica e della tecnologia delle comunicazioni: la rivoluzione, da tempo annunciata, sta prendendo forma”.
Con queste parole José Luis Rojo, Presidente della FITCE (Fédération des Ingénieurs des Télécom-

MUNICATIONS DE LA COMMUNAUTÉ EUROPEENNE), ha dato inizio alle XXXV Giornate Europee delle Telecomunicazioni che si sono svolte dal 27 agosto al 1° settembre all'Hotel Hilton di Vienna.

La separazione storica, da una parte, tra telefonia, trasmissione dati e trasmissione diffusiva, che nel passato ha portato alla distinzione delle differenti strutture di rete e, dall'altra, tra aziende di telecomunicazione e di informatica, sta ormai trovando un'integrazione nella realizzazione di una piattaforma di rete intelligente a larga banda per fornire servizi multimediali.

Ha preso così il via un intricato processo evolutivo: le industrie e i fornitori di rete, di contenuti e di servizi si stanno muovendo con sempre maggiore frenesia per stabilire alleanze volte alla conquista di una fetta del mercato strategico dei servizi multimediali.

Durante il convegno sono state affrontate tematiche riguardanti le differenti soluzioni tecnologiche, architetturali, gestionali e commerciali, i campi di applicazione e lo stato dell'arte relativamente alla realizzazione delle reti di telecomunicazione più idonee al trasporto di servizi multimediali.

Che cosa è emerso dalle XXXV Giornate Europee della FITCE?

Durante tutte le sessioni tecniche si è percepita la necessità di riflettere sugli sviluppi futuri del mondo multimediale; l'incertezza ed il timore anche di grandi colossi, Gestori dei servizi di telecomunicazioni, come BT, Deutsche Telekom e AT&T, traspariva chiaramente: le soluzioni adottabili nella realizzazione della piattaforma di rete a larga banda sono moltissime, ma rimane aperta l'incognita sulla effettiva disponibilità dei Clienti ad usufruire dei servizi proposti. Sono di fondamentale importanza i contenuti dei nuovi servizi da inserire sulla rete. Non è infatti ancora chiaro il quadro di regole nel quale ciascun Gestore potrà muoversi. Nei giorni in cui si è svolto il convegno hanno interessato maggiormente i presenti alcune tematiche di attualità quali: i servizi multimediali e le loro applicazioni, le prove in campo (field trials), la rete di accesso per i servizi multimediali.

Molta attenzione è stata dedicata ai principali servizi multimediali, disponibili tra breve sul mercato, come il VOD (Video On Demand), il teleshopping, i video-giochi, le News on Demand, alcune applicazioni in campo medico ed educativo. Di alcuni di questi servizi sono state

Conferenze



Inma Rodriguez è premiata da Hans Stephan Maruszczak presidente del Congresso e da José Luis Rojo presidente della FITCE per la migliore memoria presentata da un giovane ingegnere.

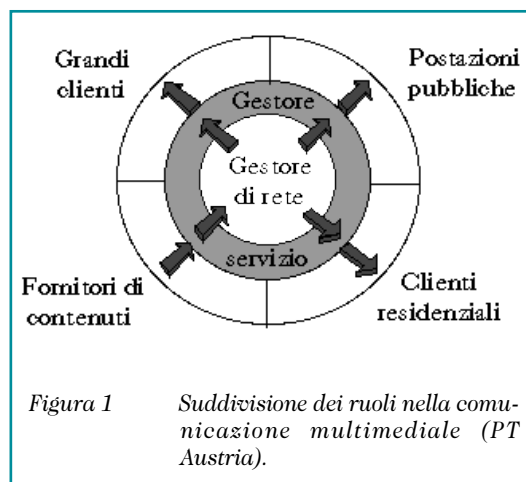
anche presentate dimostrazioni. Nell'ambito delle sessioni dedicate alle prove in campo sono state descritte sia realtà consolidate sia sperimentazioni in corso: France Télécom ha illustrato il progetto, lo sviluppo e la realizzazione del primo servizio on line presente in Francia: il Teletel, al quale il cliente accede facilmente attraverso il terminale Minitel. BT ha invece presentato i risultati della sperimentazione del servizio di televisione interattiva in duemila abitazioni ed in otto scuole attraverso le tradizionali linee telefoniche. Belgacom ha illustrato il progetto Tectris (TEchnical TRial for Interactive Services), che coinvolge cinquanta clienti e prevede l'impiego delle tecnologie ATM, MPEG, APON e ADSL.

Le soluzioni proposte per la realizzazione della rete d'accesso della piattaforma di rete a larga banda sono state numerose: alcuni Operatori, come Telefonica de Espana e Portugal Telecom, hanno sottolineato la possibilità di potenziare la rete ottico-coassiale (HFC, Hybrid Fiber Coaxial) nata per servizi diffusivi, mentre da altre parti, ad esempio da Ericsson Austria, è stato ritenuto di fondamentale importanza sfruttare le coppie in rame esistenti impiegando la tecnica ADSL, in modo da ottenere una rete a larga banda che sfrutti il capitale costituito dai cavi in rame già posati, e da evitare così gli ingenti investimenti necessari per una nuova rete ottica. Ulteriori contributi da Intracom, OTE (Grecia) e PT Austria hanno posto in rilievo la pluralità di scelte possibili, quali HFC, ADSL/VDSL e le differenti soluzioni che prevedono la penetrazione più o meno spinta della fibra ottica nella rete d'accesso FTTC, FTTB e FTTH, sottolineando come non esista una soluzione ottimale: la scelta dipende fortemente dalle condizioni specifiche in cui agiscono gli Operatori, come le caratteristiche della rete esistente, gli obiettivi di business, gli investimenti previsti e il quadro regolatorio vigente.

Molti autori hanno posto in rilievo nei loro

contributi la distinzione tra i possibili ruoli per gli Operatori della comunicazione multimediale (fig. 1): in questo campo è emersa molta incertezza, non esistendo né una regolamentazione né standard a livello internazionale.

L'Italia ha partecipato al Congresso con sei memorie: *Leonardo Chiariglione* (CSELT) ha presentato l'ambiente di sviluppo di un'infrastruttura globale dell'informazione (GII, Global Information Infrastructure); *Giuseppe Freschi* (Telecom Italia) ha illustrato le sperimentazioni italiane per la fornitura di servizi multimediali interattivi, le soluzioni tecniche adottate ed i differenti tipi di servizi; *Stefano Omiccioli* (Telecom Italia) ha descritto le caratteristiche e le fasi del progetto Socrate (Sviluppo Ottico-Coassiale Rete d'Accesso TELEcom); *Marco Marcon* (CSELT) ha descritto il sistema di gestione in sviluppo presso Telecom Italia per il controllo della piattaforma di rete a larga



banda; *Pierluigi Di Martino* (Sirti) ha presentato un'analisi funzionale ed un confronto economico di tre differenti architetture per la rete d'accesso a larga banda (HFC, FTTB/ATM PON, FTTB/ATM-SCM PON); infine, *Francesco Franci* (Interproductions Association) ha illustrato una possibile applicazione di Internet per l'insegnamento a distanza. Questi interventi sono risultati di interesse generale anche per il numero di domande poste al termine di ciascuna presentazione.

In accordo con la consuetudine della FITCE, al termine del Congresso il Comitato Direttivo ha premiato i contributi più interessanti: il premio per il miglior lavoro è stato assegnato a *N.H.G. Baken* (PTT Telecom, Olanda), che ha illustrato un sistema automatico per la progett-

Conferenze

tazione della rete di accesso ottica necessaria per il supporto di tutti i servizi multimediali; è stata anche premiata *Inma Rodriguez* (Telefonica de Espana) per la migliore memoria presentata da un giovane ingegnere partecipante al Congresso: nel suo articolo ha descritto l'evoluzione di una rete HFC necessaria per fornire servizi multimediali interattivi ed i tradizionali servizi telefonici.

La discussione finale (Closing Panel) su "Multimedia Strategies of Global Players" ha permesso di focalizzare alcune questioni di grande interesse per i Gestori delle reti di telecomunicazioni, come: l'importanza delle alleanze tra i diversi fornitori di servizi, di contenuti e di reti, conseguente alla novità costituita dalla presenza di più attori sul mercato multimediale; il continuo evolvere della tecnologia e di conseguenza la necessità di disporre di personale sempre più qualificato, necessario per poter gestire sistemi non più stabili come un tempo. Infine si è parlato del vantaggio competitivo derivante dall'uso dell'informatizzazione e della telematica nelle strutture e nei processi aziendali e, quindi, della possibilità, per ogni Gestore, di essere il primo cliente della propria rete e dei nuovi servizi multimediali.

Rapporti con l'Unione Europea

Un'importante novità è stata sicuramente l'attiva partecipazione al convegno della Comunità Europea sia nella cerimonia di apertura, con il discorso di Richard Delmas, sia nella discussione finale, con l'intervento di Eugenio Triana Garcia, Vice Presidente della XIII commissione, che ha coordinato la tavola rotonda finale. Il Presidente della FITCE ha firmato nel luglio scorso un accordo di collaborazione (Memorandum of Understanding) con l'Unione Europea per stimolare lo scambio di informazioni sugli sviluppi tecnologici dell'informatica e delle telecomunicazioni tra le principali associazioni che coinvolgono i clienti, i Gestori di rete e gli esperti di informatica e di telecomunicazione. L'Unione Europea ha così incaricato la FITCE di organizzare per il 17 ottobre a Bruxelles una tavola ro-

tonda sul tema "Requisiti della Qualità del Servizio per la fidelizzazione del cliente"; successivamente dovrebbe essere avviata una Commissione di studio della FITCE con l'obiettivo di preparare un rapporto su queste tematiche.

Conclusioni

A commento delle Giornate può essere osservato che continuano ad essere presentati in questa sede contributi efficaci e con un buon contenuto tecnico; è così confermato il salto di qualità compiuto negli ultimi anni da questa manifestazione, pur essendo essa un congresso tecnico non spe-

cialistico. Inoltre, la qualità dei supporti grafici, impiegati come ausilio all'esposizione, è migliorata sensibilmente: questa attenzione alle presentazioni è emersa in particolare per le memorie di alcuni Gestori, ad esempio per quelle di BT, che sembra considerare occasioni come questa importan-

ti eventi promozionali per la propria immagine. Per quanto riguarda invece le tematiche trattate, come è già stato sottolineato, si è avuta la conferma delle incertezze presenti sulla multimedia e della necessità di un momento di riflessione sull'opportunità di "fare" e, in caso affermativo, cosa e come operare. Al malcelato timore che possa non esserci un interesse dei clienti, si aggiunge infatti la difficoltà di operare in un ambiente competitivo per il quale, su base sia nazionale sia europea, non sono ancora state fissate regole chiare per ruoli e competenze.

E' stato annunciato che la prossima riunione annuale della FITCE si svolgerà in Grecia a Salonicco dal 22 al 28 settembre 1997 ed avrà come tema: "Le opportunità emergenti nel mondo delle Telecomunicazioni all'alba del nuovo millennio". Sono previste anche sessioni parallele nelle quali sarà trattata la tematica "Evoluzione del settore delle telecomunicazioni nei Paesi dell'Est europeo e nei nuovi Stati dell'ex Unione Sovietica".



**Riunione finale
delle XXXV
Giornate Europee
delle
Telecomunicazioni.**

Ingg. Carla Montanari, Stefano Omiccioli - Telecom Italia DG- Roma

MIGLIORAMENTO CONTINUO E PROCESSO DI AUTOVALUTAZIONE

L'Autovalutazione consiste in un'analisi esauriente, sistematica, e periodica delle attività e dei risultati di un'organizzazione, finalizzata all'individuazione delle esigenze di miglioramento in relazione alla missione ed agli obiettivi dell'Azienda.

Il processo di Autovalutazione, che consente ad ogni organizzazione di individuare chiaramente le aree da migliorare e i propri punti di forza, richiede uno strumento di indagine puntualmente strutturato con riferimento alle variabili che caratterizzano l'operatività dell'Azienda. Questo processo deve tradursi e culminare in azioni di miglioramento pianificate che devono essere integrate nella pianificazione aziendale e tenute sotto controllo per verificare che i risultati siano conformi agli obiettivi.

L'applicazione sistematica di una metodologia di Autovalutazione che si caratterizza per la sua varietà di analisi (tab. 1) procura all'Azienda numerosi benefici (tab. 2) consentendole di individuare il suo posizionamento sia rispetto al tempo (il suo trend evolutivo) sia rispetto ai livelli di eccellenza dei

propri concorrenti. Telecom Italia, nella prospettiva di affermarsi nel nuovo contesto competitivo che caratterizza il mercato delle telecomunicazioni, ha scelto la Qualità Totale come approccio globale per l'orientamento e lo sviluppo delle proprie strategie di business.

Un fattore distintivo della

prestazioni dell'Azienda. In questo quadro il ruolo centrale è svolto dal processo di Autovalutazione, che rappresenta il motore di quel miglioramento continuo la cui finalità è lo sviluppo del potenziale competitivo aziendale. Per valutare le prestazioni dell'Azienda secondo questo processo è necessario approntare

un rigoroso approccio indirizzato al miglioramento continuo
una valutazione basata su dati obiettivi e non su interpretazioni soggettive
un potente strumento di diagnosi
una modalità per ottenere coerenza di indirizzi e consenso per le iniziative che devono essere realizzate
un mezzo per formare il personale della Società sulla maniera con cui applicare, in modo significativo, i principi della Qualità Totale
un facilitatore che consente di integrare nelle normali attività Aziendali le iniziative di miglioramento continuo
uno strumento per misurare i progressi nel tempo
una metodologia applicabile ad ogni livello Aziendale, dai singoli settori all'intera organizzazione
un legame tra le finalità perseguite dall'organizzazione e le strategie e i processi

Tabella 1 Elementi che caratterizzano l'analisi per l'Autovalutazione.

Qualità Totale è il miglioramento continuo, e l'obiettivo è quello, quindi, di pervenire rapidamente ad una gestione che tenga conto dei valori della Qualità Totale attraverso l'identificazione di un processo di pianificazione del miglioramento di tutte le

una determinata struttura di base la cui rappresentazione ideale è data dal Modello Europeo per la Gestione della Qualità Totale (fig. 1). Questo modello è stato elaborato dall'EFQM (European Foundation For Quality Management) per fornire un sistema strutturato che costituisca un riferimento formale per la gestione aziendale in ottica TQM e, al tempo stesso, un criterio oggettivo per assegnare il premio Europeo EQA (European Quality Award). Telecom Italia ha aderito, sin dal 1989, alla "Fondazione" per sentire in profondità e rendere positivi ai fini del miglioramento gli stimoli provenienti dal confronto con Aziende "eccellenti" operanti nei diversi settori dell'attività economica

posizionamento in termini di "risultati" (soddisfazione delle varie classi di Clienti, esterni e interni) rispetto agli obiettivi ed ai concorrenti di riferimento
collocazione in termini di fattori che rendono possibili i risultati
situazione e misure dei processi più importanti
cause, a livello dei fattori e processi, delle eventuali criticità che si presentano nei risultati
percorsi di miglioramento fatti nel passato, in particolare nell'ultimo anno
potenzialità di miglioramento a livello di fattori e processi

Tabella 2 Benefici per l'Azienda nell'applicazione di una metodologia per l'Autovalutazione.

europea.

Il Modello Europeo per la Gestione della Qualità Totale si fonda sul seguente principio: la soddisfazione del Cliente, la soddisfazione del Personale e l'Impatto sulla Società si ottengono attraverso la Leadership, espressa in Politiche e Strategie, Gestione del Personale, Risorse e Processi. In questo modo si consegue l'eccellenza nei Risultati Aziendali.

ascolto delle "voci" quali quelle dei clienti esterni e interni, di chi opera in Azienda, dei processi sulla base degli specifici indicatori e del relativo allineamento ai risultati. In particolare, la voce dei clienti esterni ed interni si ascolta principalmente tramite i sondaggi di soddisfazione; la voce dei collaboratori mediante l'analisi di clima; la voce dei beneficiari dei risultati di business con la misura degli

sottoposti ad un campione rappresentativo dell'intera popolazione aziendale.

La voce dei processi riguarda infine le misure interne ricavate dagli indicatori di processo finali e intermedi, che saranno confrontate con gli obiettivi e con dati emersi dai sondaggi. Questi confronti saranno eseguiti dall'Unità, come parte del processo di Autovalutazione. Accanto agli indicatori di efficacia, l'Autovalutazione deve produrre anche indicatori di efficienza dei processi: costi e tempi di realizzazione.

L'Autovalutazione è condotta, come già accennato, da un "Team" nominato dal Responsabile dell'Unità; questo Team deve operare in piena autonomia di giudizio e mirare alla massima rappresentatività dei risultati. Esso deve identificare ed elencare il supporto documentale su cui basa le proprie valutazioni e deve garantirne la disponibilità. Il processo di Autovalutazione deve essere ampiamente coinvolgente, così da raccogliere le voci ed i contributi significativi dell'intera realtà dell'Unità Organizzativa. Il Team di Autovalutazione può raccogliere le informazioni che ritiene necessarie sia tramite interviste individuali e di gruppo, sia richiedendo rapporti scritti, sia anche, quando lo ritenesse necessario, tramite questionari. L'obiettivo primario è infatti teso a raccogliere i dati necessari per identificare le aree che richiedono miglioramento, per cui a valle del processo di Autovalutazione sarà definito da parte dell'Unità Organizzativa un opportuno piano di miglioramento.

Nel biennio 1993-'95 il processo di Autovalutazione è stato realizzato con un graduale coinvolgimento di tutte le strutture aziendali, mantenendo una impostazione che tendeva a

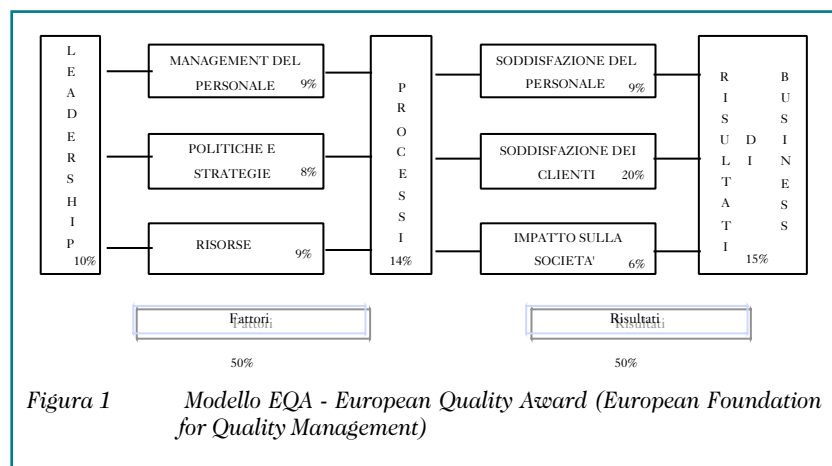


Figura 1 Modello EQA - European Quality Award (European Foundation for Quality Management)

Questo modello è applicato integralmente nel processo di Autovalutazione, la cui caratteristica peculiare è rappresentata proprio dal sistema di determinazione del giudizio di valutazione; questo, infatti, non è espresso solo attraverso la via tradizionale della gerarchia e, quindi, prevalentemente nell'ottica ed attraverso la "voce" del management, ma si basa sostanzialmente sull'ascolto da parte del management (attraverso un apposito Team di Autovalutazione) delle valutazioni, dei giudizi, in sintesi di tutte quelle "voci" che consentono di giungere ad un quadro il più possibile completo e obiettivo. Il compito principale del management nell'Autovalutazione è dunque di

scostamenti tra risultati ed obiettivi di parametri di business assunti dall'Azienda come significativi ai fini della soddisfazione di questa categoria di clienti. Le informazioni quantitative fondamentali relative alla "voce dei Clienti" sono rilevate dall'Azienda. Le prime, e soprattutto la voce dei Clienti esterni e interni, sono poi possibilmente arricchite dalle informazioni raccolte direttamente dall'Unità che si autovaluta. La voce di chi opera in Azienda è invece rilevata sia tramite interviste individuali e di gruppo - che l'Unità farà seguendo i criteri specificati nella "Guida all'Autovalutazione" e nella "Guida operativa per il Team di Autovalutazione" - sia attraverso i questionari di efficacia

Osservatorio

mettere in evidenza in particolar modo "come" i singoli risultati venivano ottenuti: accanto alla cultura dei risultati, già radicata allora nella ex-Sip, occorre infatti sviluppare una cultura dei fattori, altrettanto forte, che permettesse di garantire un equilibrato sviluppo del potenziale competitivo dell'Azienda. L'Autovalutazione infatti si sviluppava attraverso una lettura sinistra/destra del modello che vedeva in un primo tempo la valutazione dei Fattori e, successivamente, la valutazione dei Risultati. Completata questa fase, è stato ritenuto opportuno porre l'attenzione sull'efficacia del processo di Autovalutazione, affinando le capacità diagnostiche dello strumento e rendendolo parte integrante del processo di pianificazione

aziendale. In questa prospettiva è stata sviluppata una lettura destra/sinistra del modello che, partendo dall'esame dei Risultati, analizza prima i Processi che li hanno prodotti e poi tutti gli altri Fattori che influenzano i singoli processi. Il pieno successo di questo processo diagnostico è strettamente legato al collegamento che l'Autovalutazione riesce ad avere con il ciclo di Pianificazione Aziendale; l'Autovalutazione muove infatti dagli obiettivi definiti in sede di pianificazione rispetto ai quali sono misurati i risultati e da questi si delinea e si sviluppa l'intero percorso che caratterizza questo processo. La collocazione del processo è stata quindi rivista ed allineata al ciclo di pianificazione aziendale

in modo da consentire che il piano di miglioramento derivante dall'Autovalutazione sia integrato nel ciclo di pianificazione. Sarà così possibile, non appena definito il piano di miglioramento, arricchire la pianificazione operativa (Piano delle Azioni) in fase di realizzazione e, al contempo, per quelle azioni che hanno valenza pluriennale, integrare il Piano Strategico in fase di approntamento, dando così al processo di Autovalutazione la possibilità di esprimere pienamente le sue potenzialità strategico-gestionali.

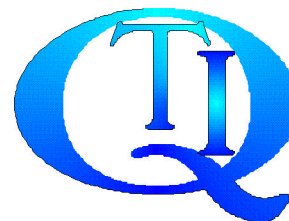
*Carlo Longo
Telecom Italia DG Roma
Area Qualità
Responsabile Linea Centrale Sistemi*

QUALITÀ TOTALE, COLLANTE DI TUTTE LE AZIONI

FANNO APPENA IN TEMPO AD ENTRARE GLI ULTIMI INVITATI, SI ABBASSANO LE LUCI, ED INIZIA SUGLI SCHERMI DELLA SALA UN DIVERTENTE FILMATO IN LINGUA ORIGINALE TRATTO DA "UNA PALLOTTOLA SPUNTATA 2", CON I SOTTOTITOLI IN ITALIANO SIMPATICAMENTE REINVENTATI PER APRIRE, IN UN'ATMOSFERA PIACEVOLE E BRILLANTE, LA CONVENTION QUALITÀ '96 DELL'AREA TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE.

L'Area, come hanno ricordato Umberto Malta, al momento Direttore Generale dei Sistemi Operativi, e Paolo Pallotta, Responsabile dell'Area, rappresenta un punto nodale per la soddisfazione del cliente interno dell'Azienda, costituendo, insieme all'Area Personale ed Organizzazione ed alla Divisione Servizi Interni, il fornitore interno per eccellenza. Diventa quanto mai attuale l'esigenza di operare in maniera significativa secondo la logica della *Qualità Totale*, come rivisitazione di tutti i processi aziendali, al fine di migliorare il servizio offerto nell'ottica della percezione e del giudizio da parte del Cliente. E' questo un

passaggio obbligato: dalla cultura della gestione alla cultura del servizio per arrivare alla partnership con il Cliente. I risultati di qualità dell'Area per il 1995 sono stati oggetto dell'intervento di Michele Carmosino, Responsabile della Linea Centrale Qualità e Customer Service: *l'analisi dello*



stato di salute dell'Area Tecnologie dell'Informazione, condotta dal Team di autovalutazione, nonché i sondaggi di efficacia, di customer satisfaction e di clima interno condotti dall'Area, hanno rilevato criticità estese in molte aree esaminate e sono stati riscontrati ampi margini di miglioramento per le prestazioni globali di questa Area. La Convention Qualità '96 di Tecnologie dell'Informazione è diventata quindi un'occasione per esaminare lo stato dell'Area e per discutere e definire gli obiettivi primari di qualità, necessari per colmare il divario esistente per:

- *soddisfare il Cliente;*
- *integrarsi con il Cliente;*
- *ottimizzare il rapporto con i fornitori.*

Nell'ottica del perseguimento dell'obiettivo primario di soddisfare il Cliente, Franco Zuppini, Responsabile dei Servizi di Sviluppo e Duccio Di Pino, Responsabile della Linea Centrale Tecnologie Architetture e Piani, hanno illustrato IT 2000, il progetto di "rifondazione" del Sistema Informativo di Telecom Italia nell'ottica dei processi end-to-end, che consente di trasformare un qualsiasi prodotto in un servizio autenticamente personalizzato.

L'obiettivo di integrare l'Area con i propri Clienti è stato testimoniato dagli interventi di Salvatore Basile, Responsabile dello Sviluppo Clienti della Divisione Clienti Privati e da Fulvio Ragone, Responsabile del Servizio Clienti della Divisione Clienti Business.

Dionisio Angelini, Responsabile della Linea Centrale Servizi di Esercizio, è intervenuto successivamente sulla progettazione e realizzazione della Business Transformation dei servizi di Esercizio, dando particolare rilievo ai buoni risultati del nuovo servizio di

Customer Care, che ha lo scopo di realizzare, con una elevata qualità di prestazioni, il servizio di unico punto di chiamata del cliente.

Domenico De Masi, ordinario di Sociologia del Lavoro all'Università "La Sapienza" di Roma, ha poi affrontato il tema del *telelavoro*. Con la sua capacità comunicativa, che ha le sue radici nella cultura di origine partenopea, ha incontrato la simpatia del pubblico, contribuendo a rendere quanto mai attuale l'esigenza di orientare l'Azienda verso nuove forme di organizzazione del lavoro: il telelavoro visto come strumento per far viaggiare le informazioni piuttosto che le persone e per organizzare meglio il tempo dedicato al lavoro, così da ottenere una migliore qualità della vita.

Sta ormai giungendo al termine il Progetto Strategico sul sistema informatico per la documentazione integrale degli addebiti del traffico telefonico e per la sicurezza dei dati, ha poi ricordato Giovanni De Iacovo, che con la sua Linea ha fissato per il prossimo ottobre la fornitura della documentazione del traffico telefonico ai clienti su tutto il territorio nazionale.

Franco Guidotti, Responsabile della Linea Centrale Pianificazione e Controllo, ha sottolineato l'importanza per l'Area di sviluppare al suo interno un sistema di contabilità industriale, necessario per un'efficace controllo di gestione, ed ha fatto riferimento in proposito alla metodologia dell'Activity Base Costing, uno strumento per l'ottimizzazione, la programmazione ed il controllo delle attività sotto il duplice aspetto dell'efficacia e dell'efficienza. Nella conclusione della Convention, Paolo Pallotta, Responsabile dell'Area Tecnologie dell'Informazione, ha

definito i tre temi prioritari per il Piano di Miglioramento dell'anno in corso: la formazione; la gestione dei processi; l'ascolto, la comunicazione e la visibilità.

In particolare ha sottolineato che: *la formazione*: dalla Convention è emersa la consapevolezza comune che la vitalità dell'Azienda, nell'attuale contesto competitivo, dipende strettamente dal fattore umano, fondamento della redditività aziendale, e quindi dalla formazione.

Per aumentare la capacità dell'Azienda di reagire ai cambiamenti necessari in modo da essere pronti al prossimo millennio, cresce la necessità di arricchire la professionalità di ognuno con una formazione sistematica continua che coinvolga tutta la piramide aziendale.

Nel quadro variegato di Tecnologie dell'Informazione saranno fondamentali spirito imprenditoriale e capacità di orientare i propri collaboratori, trasmettendo ad essi valori, spiegando politiche e valorizzando le differenze di conoscenze ed esperienze presenti nella Società: uno sforzo necessario per accelerare il processo di "gestione della conoscenza" che concretizza un'Azienda come *learning organization*.

La gestione dei processi rappresenta, poi, lo strumento che consente all'Azienda di raggiungere e mantenere nel tempo i livelli via via prestabiliti di efficacia e di efficienza. La rilevanza della componente "processi" è anche desumibile dal modello E.Q.A. (European Quality Award) adottato dall'E.F.Q.M. (European Foundation for Quality Management) per l'assegnazione del premio europeo per la qualità; in questo modello la categoria processi costituisce

Osservatorio

l'anello di congiunzione tra fattori che li governano e risultati dell'Azienda. Nell'Area è in atto lo sviluppo di un piano di gestione che, partendo dai processi reali, determina l'individuazione di Clienti, Uscite, Richieste e Fornitori e consente il continuo controllo dei Processi attraverso l'impiego di indicatori correlati alla Soddisfazione del Cliente. E' così possibile aumentare la soddisfazione dei Clienti interni operando in modo strutturato, sinergico e con metodo. Fondamentale, infine, risulta *l'ascolto, la comunicazione e la visibilità*: dall'approfondimento delle problematiche emerse dall'analisi del Sondaggio di Clima deriva, infine, il Piano di Ascolto del Personale che prevede:

- ascolto di problemi ed attese

- personali;
- eventuali riconoscimenti o problematicità del periodo;
- verifica del corretto svolgimento del processo di assegnazione, gestione e consuntivazione degli obiettivi e della formazione (personali e annuali);
- visite presso tutte le strutture periferiche per la comunicazione e la diffusione delle strategie aziendali.

Il Responsabile dell'Area ha infine ricordato la logica di fondo degli obiettivi e delle politiche messe in evidenza nel Piano Strategico Quadriennale di Tecnologie dell'Informazione (1997-2000): *una graduale evoluzione del Sistema Informativo* ed una revisione dei processi di gestione ad esso relativi in modo da garantire:

- l'allineamento alle aspettative del Cliente Interno;
- l'innalzamento della qualità dei servizi forniti;
- la competitività delle Tecnologie dell'Informazione rispetto al mercato esterno in un'ottica di superamento della logica di mercato "captive", con una particolare attenzione ai tempi ed al rapporto tra costi e prezzi.

Obiettivi, questi, per il cui conseguimento *la Qualità Totale rappresenta il collante di tutte le azioni*.

*Umberto Sorace Maresca
Telecom Italia DG Roma
Area Tecnologie dell'Informazione
Qualità e Customer Service*

INFORMATION & COMMUNICATIONS TECHNOLOGY, ACCORDI E ACQUISIZIONI

Da questo numero è avviata una collaborazione dell'Area Strategie, Pianificazione e Controllo (SPC) con il Notiziario Tecnico Telecom Italia con l'obiettivo di pubblicare una sintesi dei principali accordi e delle acquisizioni concluse fra le aziende del mondo dell'Information & Communications Technology (ICT). Questi accordi sono monitorati da un gruppo di esperti che quotidianamente esamina stampa nazionale ed estera, riviste specializzate e l'intera reportistica aziendale.

Gli accordi e le acquisizioni che sono pubblicati nel Notiziario Tecnico costituiscono solo una parte delle informazioni contenute nel DB STRATEGICO, un Data-Base relazionale che l'Area SPC ha realizzato con la precipua finalità di controllare continuamente il complesso scenario mondiale delle telecomunicazioni e di analizzare il processo di convergenza tecnologica che si sta verificando fra le imprese del mondo dell'Information & Communications Technology. Il DB Strategico contiene, infatti, anche informazioni relative a: dati macroeconomici riferiti a Paesi esteri; aree di business; azionariato, strategie di internazionalizzazione delle principali aziende del mondo dell'Information & Communications Technology; principali accordi/acquisizioni fra aziende dell'ICT; dati economico-patrimoniali riclassificati secondo criteri omogenei riferiti ai principali operatori di telecomunicazione del mondo.

Le funzioni aziendali interessate a più approfondite informazioni, anche di carattere economico-patrimoniale, circa le notizie pubblicate, possono richiederle direttamente a SPC/SS-DS (Area Strategie Pianificazione e Controllo/Strategie di Sviluppo-Documentazione e Supporto).

r.c.



E' NATA LA MFS WORLDCOM INC.

IL QUARTO GESTORE AMERICANO SULLA LUNGA DISTANZA WORLDCOM INC. HA ACQUISITO L'OPERATORE URBANO METROPOLITAN FIBER SYSTEM INC. CONOSCIUTO COME MFS COMMUNICATIONS INC. CON UN ESBORSO FINANZIARIO DEL VALORE DI 14 MILIARDI DI DOLLARI (PARI A 22.360 MILIARDI DI LIRE).

MFS Worldcom Inc. nasce con un fatturato annuale di 5,4 miliardi di dollari (pari a 8.624 miliardi di lire), con più di 500 mila utenti e con una capitalizzazione di mercato di 23 miliardi di dollari (pari a 36.732 miliardi di lire). Prevede di offrire ad una clientela mondiale servizi telefonici locali, di lunga distanza, per l'accesso ad Internet: MFS Communication ha infatti recentemente acquisito la UUNET Technologies, uno dei maggiori fornitori di accessi ad Internet a clienti societari. Il Gestore prevede di realizzare un fatturato globale di 7 miliardi di dollari (pari a 11.180 miliardi di lire). L'annuncio è stato dato lo scorso 26 agosto.

La perfetta complementarità e sinergia dei profili di Worldcom e di MFS -uno dei principali fornitori di accesso competitivo, di servizi telefonici urbani e di accesso ad Internet, titolare, anche, di reti locali in fibra ottica nei principali centri americani e nelle capitali europee- conferisce vantaggi competitivi di rilievo in termini di redditività e tempestività alla

nuova MFS Worldcom che:

- può immediatamente disporre di una capacità di offerta a carattere globale, fornendo alla propria clientela servizi telefonici locali, di lunga distanza e internazionali e per l'accesso ad Internet;
- può utilizzare una propria rete di distribuzione che oggi collega quarantacinque città americane e le principali città europee quali Londra, Parigi, Francoforte e Stoccolma; non deve quindi sostenere massicci investimenti in infrastrutture;
- può ottenere rilevanti economie di scala dalla connessione delle reti per le comunicazioni a lunga distanza di Worldcom con le reti urbane in fibra ottica di MFS, eliminando i costi di linea e di accesso che altre compagnie devono sostenere.



LA COMPAGNIE GÉNÉRALE DES EAUX (CGE) HA ANNUNCIATO LA CESSIONE DEL VENTICINQUE PER CENTO DELLA CONTROLLATA CEGETEL, LA "HOLDING TELECOM" DEL GRUPPO FRANCESE, A BRITISH TELECOM PER UNA CIFRA PARI A 2.600 MILIARDI DI LIRE. Insieme a BT saranno presenti nel capitale della Cegetel anche la tedesca Mannesmann, con una quota del dieci per cento, e l'americana Southwestern Bell, quindici per cento in via indiretta.

Con questa operazione BT penetra nel mercato francese, l'unico tra quelli europei dal quale era ancora assente, dando vita ad un grande gruppo in grado di competere con l'Operatore pubblico France Télécom.

L'obiettivo di Cegetel, che prevede di investire entro il 1999 quattro miliardi di franchi, è di conquistare entro il 2003 il quaranta per cento del mercato francese della telefonia mobile ed il venti per cento di quello della telefonia fissa a lunga distanza. Cegetel già controlla la SFR, secondo operatore nel campo della telefonia cellulare GSM che ha acquisito il venti per cento del mercato francese.



L'IMPRENDITORE AUSTRALIANO RUPERT MURDOCH HA ACQUISITO, TRAMITE UNO SCAMBIO AZIONARIO, L'OTTANTA PER CENTO NON ANCORA IN SUO POSSESSO DELLA NEW WORLD COMMUNICATIONS GROUP, DI PROPRIETÀ DELL'INVESTITORE AMERICANO RONALD PERELMAN, CON UN ESBORSO DI 2,5 MILIARDI DI DOLLARI (CIRCA 4000 MILIARDI DI LIRE). La New World controlla dieci stazioni televisive già affiliate della rete FOX (quarto network Usa fondato sempre da Rupert Murdoch una decina di anni fa).

Con il controllo della New World, Rupert Murdoch conquista una posizione dominante nel mercato americano in quanto:

- diventa il maggior proprietario di stazioni televisive con copertura nazionale, con una capacità di penetrazione del mercato televisivo pari al quaranta per cento e con una solida presenza in undici dei dodici maggiori mercati Usa;
- può sfruttare i vantaggi in termini di sinergie derivanti dall'essere contemporaneamente titolare di una casa di distribuzione e produzione cinematografica, di decine di televisioni in tutto il mondo, di sistemi di collegamento via satellite e di sistemi via cavo, di testate giornalistiche di rilievo come il Times di Londra, di riviste e case editrici.

BT ENTRA NEL MERCATO FRANCESE
ACQUISENDO IL VENTICINQUE PER CENTO
DI CEGETEL

LA SCALATA DI RUPERT MURDOCH ALLA
NEW WORLD COMMUNICATION

IL MERCATO EUROPEO DELLA TELEVISIONE NUMERICA

ALLEANZA ANGLO-TEDESCA DOMINATA DA LEO KIRCH E DA RUPERT MURDOCH

ALLEANZA TRA BERTELSMANN E CLT

La New World Communication si aggiunge, pertanto, alle tre storiche reti televisive nazionali americane via etere, ABC (Gruppo Disney), CBS (Gruppo Westinghouse) e NBC (Gruppo General Electric).



1. ACCORDO (GIUGNO '96) FRA IL TEDESCO LEO KIRCH E L'INGLESE BRITISH SKY BROADCASTING (GB).
2. ACCORDO (LUGLIO '96) FRA IL TEDESCO BERTELSMANN AG E LA LUSSEMBURGHESE COMPAGNIE LUXEMBOURGEOISE DE TÉLÉDIFFUSION (CLT).
3. INTESA TECNOLOGICA FRA I DUE RIVALI DEL MERCATO TEDESCO, BERTELSMANN AG E LEO KIRCH (LUGLIO '96).
4. ACQUISIZIONE DA PARTE DELLA FRANCESE CANAL PLUS DELLA NETHOLD (SETTEMBRE '96).
5. DB TELEKOM E BERTELSMANN AG ABBANDONANO IL CONSORZIO MMBG.

Il mercato della televisione numerica sta conquistando in questa seconda metà del 1996 una significativa importanza in tutto il mondo sia per le ridotte prospettive di sviluppo delle forme tradizionali di televisione sia per l'elevato numero di canali e quindi per l'ampia gamma di scelte che la tecnica numerica consente di rendere disponibili nelle abitazioni. Tuttavia il sistema di distribuzione della televisione numerica richiede investimenti rilevanti in contenuti, in impianti di diffusione e di ricezione, in organizzazione e dilatando i costi in misura esponenziale obbliga a superare i confini dei singoli Paesi per pervenire a significative economie di scala. Questa esigenza ha comportato nell'Europa continentale, dove i mercati, a differenza del più evoluto contesto americano, sono ancora chiusi e di dimensioni limitate, un proliferare di trattative e di alleanze, non sempre concluse, che ha portato alla costituzione di due alleanze tra loro rivali:

- da una parte quella anglo-tedesca dominata dal tedesco Leo Kirch, maggiore Gestore europeo nel settore della pay-Tv e uno dei due leader del mercato tedesco, di gran lunga il più evoluto d'Europa, e dall'operatore britannico satellitare British Sky Broadcasting (BSKYB), controllato da Rupert Murdoch, uno dei maggiori protagonisti del panorama multimediale mondiale. Sono anche presenti nella stessa alleanza, in quanto alleati di Leo Kirch, la Nethold e la tedesca Vebacom;
- dall'altra quella tedesco-lussemburghese dominata dal tedesco Bertelsmann AG, rivale in Germania di Kirch, e dalla lussemburghese Compagnie Luxembourgeoise de Télédiffusion (CLT).

Nella costituzione dell'alleanza anglo-tedesca è stato decisivo l'accordo a carattere globale, definito nel giugno '96; esso ha portato alla creazione di un legame strategico significativo fra Leo Kirch e BSKYB, leader dei due maggiori mercati dell'Europa continentale.

Rilevante per il posizionamento competitivo dell'alleanza nello scenario europeo è stata, anche, la recente acquisizione nel settembre '96 che ha visto protagonisti la pay-Tv francese Canal Plus e la Nethold. Canal Plus, acquisendo il controllo completo della Nethold dal sudafricano Johann Rupert, le subentra nei rapporti con Leo Kirch e con l'italiana Mediaset. Il nuovo profilo dell'alleanza, oltre a creare, così, un legame strategico rilevante fra i principali protagonisti sul mercato tedesco, inglese e francese, lascia intravedere anche possibili espansioni verso il mercato italiano.

Decisivo nella costituzione dell'alleanza avversaria è stato l'accordo conclu-

so nel luglio '96 fra Bertelsmann AG e CLT che ha favorito la formazione di un polo unico che raggruppa tutte le attività televisive dei due gruppi.

L'approvazione della fusione (valore circa 6,58 miliardi di dollari pari a 10.500 miliardi di lire) delle rispettive unità televisive, che ha portato alla costituzione di un gruppo composto da almeno trentacinque emittenti operanti in Europa e da ditte produttrici di film, spettacoli di intrattenimento, "spot" pubblicitari e servizi, ha consentito a Bertelsmann AG la conquista di una posizione dominante nel mercato tedesco ed il consolidamento della propria posizione nel mercato europeo.

Particolarmente significativa nella definizione dello scenario europeo della televisione numerica è stata l'intesa tecnologica raggiunta alla fine di luglio dell'anno corrente fra i due rivali Leo Kirch e Bertelsmann AG circa il tipo di decodificatore da utilizzare.

E' stata così abbattuta una delle maggiori barriere che ostacolavano lo sviluppo del mercato nascente della televisione numerica, ed è stata instaurata una situazione di sostanziale monopolio "tecnologico". Le due "cordate" in competizione nel mercato europeo della televisione numerica adotteranno il decodificatore realizzato da Leo Kirch, immesso sul mercato alla fine di luglio di quest'anno al costo di circa 890 marchi tedeschi (pari a 680.000 lire).

L'intesa sugli standard tecnologici raggiunta fra Leo Kirch e Bertelsmann AG riveste, quindi, una significativa valenza competitiva in quanto:

- ha spostato la competizione dalla tecnologia alla proprietà dei contenuti da trasmettere sulle proprie reti che diventano, perciò, l'effettivo elemento competitivo di due gruppi in competizione;
- ristabilisce rapporti fra gli esponenti delle due alleanze in competizione e, eliminando la barriera tecnologica, favorisce lo sviluppo nel mercato tedesco della televisione numerica.

Nel settembre di quest'anno sono intervenuti cambiamenti all'interno dell'alleanza franco-tedesco-lussemburghese che determineranno nel prossimo futuro nuovi scenari nel mondo della televisione numerica.

Il consorzio MMBG (Multimedia Betriebsgesellschaft), nato per promuovere lo sviluppo della televisione numerica in Germania e formato da DB Telekom, Bertelsmann AG, Canal Plus e CLT, ha avuto vita breve. Nella seconda metà di settembre, infatti, i due principali partners, DB Telekom e Bertelsmann AG, si sono ritirati dall'alleanza. Il ritiro dell'operatore di telecomunicazioni può essere stato causato dalla volontà manifestata da DB Telekom di offrire in proprio servizi di televisione numerica ai propri abbonati via cavo. Questa defezione, insieme agli effetti determinati dalla fusione Canal Plus-Nethold, ha indotto ad una revisione delle strategie di Bertelsmann AG nel campo della televisione numerica. Inoltre il colosso editoriale tedesco rinuncia per ora al lancio sul mercato del pacchetto di canali televisivi numerici, denominato CLUB RTL, a causa della forte incertezza relativa alle potenzialità di crescita di questo mercato.

INTESA SUL DECODIFICATORE,
ABBATTUTA UNA DELLE MAGGIORI
BARRIERE ALLO SVILUPPO DELLA TV
NUMERICA

DB TELEKOM E BERTELSMANN
SI RITIRANO DALL'ALLEANZA

Stefania Pietrantoni
Telecom Italia DG - Roma
Area Strategie Pianificazione e Controllo

INFORMATION & COMMUNICATIONS TECHNOLOGY, ACCORDI E ACQUISIZIONI

Da questo numero è avviata una collaborazione dell'Area Strategie, Pianificazione e Controllo (SPC) con il Notiziario Tecnico Telecom Italia con l'obiettivo di pubblicare una sintesi dei principali accordi e delle acquisizioni concluse fra le aziende del mondo dell'Information & Communications Technology (ICT). Questi accordi sono monitorati da un gruppo di esperti che quotidianamente esamina stampa nazionale ed estera, riviste specializzate e l'intera reportistica aziendale.

Gli accordi e le acquisizioni che sono pubblicati nel Notiziario Tecnico costituiscono solo una parte delle informazioni contenute nel DB STRATEGICO, un Data-Base relazionale che l'Area SPC ha realizzato con la precipua finalità di controllare continuamente il complesso scenario mondiale delle telecomunicazioni e di analizzare il processo di convergenza tecnologica che si sta verificando fra le imprese del mondo dell'Information & Communications Technology. Il DB Strategico contiene, infatti, anche informazioni relative a: dati macroeconomici riferiti a Paesi esteri; aree di business; azionariato, strategie di internazionalizzazione delle principali aziende del mondo dell'Information & Communications Technology; principali accordi/acquisizioni fra aziende dell'ICT; dati economico-patrimoniali riclassificati secondo criteri omogenei riferiti ai principali operatori di telecomunicazione del mondo.

Le funzioni aziendali interessate a più approfondite informazioni, anche di carattere economico-patrimoniale, circa le notizie pubblicate, possono richiederle direttamente a SPC/SS-DS (Area Strategie Pianificazione e Controllo/Strategie di Sviluppo-Documentazione e Supporto).

r.c.



E' NATA LA MFS WORLDCOM INC.

IL QUARTO GESTORE AMERICANO SULLA LUNGA DISTANZA WORLDCOM INC. HA ACQUISITO L'OPERATORE URBANO METROPOLITAN FIBER SYSTEM INC. CONOSCIUTO COME MFS COMMUNICATIONS INC. CON UN ESBORSO FINANZIARIO DEL VALORE DI 14 MILIARDI DI DOLLARI (PARI A 22.360 MILIARDI DI LIRE).

MFS Worldcom Inc. nasce con un fatturato annuale di 5,4 miliardi di dollari (pari a 8.624 miliardi di lire), con più di 500 mila utenti e con una capitalizzazione di mercato di 23 miliardi di dollari (pari a 36.732 miliardi di lire). Prevede di offrire ad una clientela mondiale servizi telefonici locali, di lunga distanza, per l'accesso ad Internet: MFS Communication ha infatti recentemente acquisito la UUNET Technologies, uno dei maggiori fornitori di accessi ad Internet a clienti societari. Il Gestore prevede di realizzare un fatturato globale di 7 miliardi di dollari (pari a 11.180 miliardi di lire). L'annuncio è stato dato lo scorso 26 agosto.

La perfetta complementarità e sinergia dei profili di Worldcom e di MFS -uno dei principali fornitori di accesso competitivo, di servizi telefonici urbani e di accesso ad Internet, titolare, anche, di reti locali in fibra ottica nei principali centri americani e nelle capitali europee- conferisce vantaggi competitivi di rilievo in termini di redditività e tempestività alla

nuova MFS Worldcom che:

- può immediatamente disporre di una capacità di offerta a carattere globale, fornendo alla propria clientela servizi telefonici locali, di lunga distanza e internazionali e per l'accesso ad Internet;
- può utilizzare una propria rete di distribuzione che oggi collega quarantacinque città americane e le principali città europee quali Londra, Parigi, Francoforte e Stoccolma; non deve quindi sostenere massicci investimenti in infrastrutture;
- può ottenere rilevanti economie di scala dalla connessione delle reti per le comunicazioni a lunga distanza di Worldcom con le reti urbane in fibra ottica di MFS, eliminando i costi di linea e di accesso che altre compagnie devono sostenere.



LA COMPAGNIE GÉNÉRALE DES EAUX (CGE) HA ANNUNCIATO LA CESSIONE DEL VENTICINQUE PER CENTO DELLA CONTROLLATA CEGETEL, LA "HOLDING TELECOM" DEL GRUPPO FRANCESE, A BRITISH TELECOM PER UNA CIFRA PARI A 2.600 MILIARDI DI LIRE. Insieme a BT saranno presenti nel capitale della Cegetel anche la tedesca Mannesmann, con una quota del dieci per cento, e l'americana Southwestern Bell, quindici per cento in via indiretta.

Con questa operazione BT penetra nel mercato francese, l'unico tra quelli europei dal quale era ancora assente, dando vita ad un grande gruppo in grado di competere con l'Operatore pubblico France Télécom.

L'obiettivo di Cegetel, che prevede di investire entro il 1999 quattro miliardi di franchi, è di conquistare entro il 2003 il quaranta per cento del mercato francese della telefonia mobile ed il venti per cento di quello della telefonia fissa a lunga distanza. Cegetel già controlla la SFR, secondo operatore nel campo della telefonia cellulare GSM che ha acquisito il venti per cento del mercato francese.



L'IMPREDITORE AUSTRALIANO RUPERT MURDOCH HA ACQUISITO, TRAMITE UNO SCAMBIO AZIONARIO, L'OTTANTA PER CENTO NON ANCORA IN SUO POSSESSO DELLA NEW WORLD COMMUNICATIONS GROUP, DI PROPRIETÀ DELL'INVESTITORE AMERICANO RONALD PERELMAN, CON UN ESBORSO DI 2,5 MILIARDI DI DOLLARI (CIRCA 4000 MILIARDI DI LIRE). La New World controlla dieci stazioni televisive già affiliate della rete FOX (quarto network Usa fondato sempre da Rupert Murdoch una decina di anni fa).

Con il controllo della New World, Rupert Murdoch conquista una posizione dominante nel mercato americano in quanto:

- diventa il maggior proprietario di stazioni televisive con copertura nazionale, con una capacità di penetrazione del mercato televisivo pari al quaranta per cento e con una solida presenza in undici dei dodici maggiori mercati Usa;
- può sfruttare i vantaggi in termini di sinergie derivanti dall'essere contemporaneamente titolare di una casa di distribuzione e produzione cinematografica, di decine di televisioni in tutto il mondo, di sistemi di collegamento via satellite e di sistemi via cavo, di testate giornalistiche di rilievo come il Times di Londra, di riviste e case editrici.

BT ENTRA NEL MERCATO FRANCESE
ACQUISENDO IL VENTICINQUE PER CENTO
DI CEGETEL

LA SCALATA DI RUPERT MURDOCH ALLA
NEW WORLD COMMUNICATION

IL MERCATO EUROPEO DELLA TELEVISIONE NUMERICA

ALLEANZA ANGLO-TEDESCA DOMINATA DA LEO KIRCH E DA RUPERT MURDOCH

ALLEANZA TRA BERTELSMANN E CLT

La New World Communication si aggiunge, pertanto, alle tre storiche reti televisive nazionali americane via etere, ABC (Gruppo Disney), CBS (Gruppo Westinghouse) e NBC (Gruppo General Electric).



1. ACCORDO (GIUGNO '96) FRA IL TEDESCO LEO KIRCH E L'INGLESE BRITISH SKY BROADCASTING (GB).
2. ACCORDO (LUGLIO '96) FRA IL TEDESCO BERTELSMANN AG E LA LUSSEMBURGHESE COMPAGNIE LUXEMBOURGEOISE DE TÉLÉDIFFUSION (CLT).
3. INTESA TECNOLOGICA FRA I DUE RIVALI DEL MERCATO TEDESCO, BERTELSMANN AG E LEO KIRCH (LUGLIO '96).
4. ACQUISIZIONE DA PARTE DELLA FRANCESE CANAL PLUS DELLA NETHOLD (SETTEMBRE '96).
5. DB TELEKOM E BERTELSMANN AG ABBANDONANO IL CONSORZIO MMBG.

Il mercato della televisione numerica sta conquistando in questa seconda metà del 1996 una significativa importanza in tutto il mondo sia per le ridotte prospettive di sviluppo delle forme tradizionali di televisione sia per l'elevato numero di canali e quindi per l'ampia gamma di scelte che la tecnica numerica consente di rendere disponibili nelle abitazioni. Tuttavia il sistema di distribuzione della televisione numerica richiede investimenti rilevanti in contenuti, in impianti di diffusione e di ricezione, in organizzazione e dilatando i costi in misura esponenziale obbliga a superare i confini dei singoli Paesi per pervenire a significative economie di scala. Questa esigenza ha comportato nell'Europa continentale, dove i mercati, a differenza del più evoluto contesto americano, sono ancora chiusi e di dimensioni limitate, un proliferare di trattative e di alleanze, non sempre concluse, che ha portato alla costituzione di due alleanze tra loro rivali:

- da una parte quella anglo-tedesca dominata dal tedesco Leo Kirch, maggiore Gestore europeo nel settore della pay-Tv e uno dei due leader del mercato tedesco, di gran lunga il più evoluto d'Europa, e dall'operatore britannico satellitare British Sky Broadcasting (BSKYB), controllato da Rupert Murdoch, uno dei maggiori protagonisti del panorama multimediale mondiale. Sono anche presenti nella stessa alleanza, in quanto alleati di Leo Kirch, la Nethold e la tedesca Vebacom;
- dall'altra quella tedesco-lussemburghese dominata dal tedesco Bertelsmann AG, rivale in Germania di Kirch, e dalla lussemburghese Compagnie Luxembourgeoise de Télédiffusion (CLT).

Nella costituzione dell'alleanza anglo-tedesca è stato decisivo l'accordo a carattere globale, definito nel giugno '96; esso ha portato alla creazione di un legame strategico significativo fra Leo Kirch e BSKYB, leader dei due maggiori mercati dell'Europa continentale.

Rilevante per il posizionamento competitivo dell'alleanza nello scenario europeo è stata, anche, la recente acquisizione nel settembre '96 che ha visto protagonisti la pay-Tv francese Canal Plus e la Nethold. Canal Plus, acquisendo il controllo completo della Nethold dal sudafricano Johann Rupert, le subentra nei rapporti con Leo Kirch e con l'italiana Mediaset. Il nuovo profilo dell'alleanza, oltre a creare, così, un legame strategico rilevante fra i principali protagonisti sul mercato tedesco, inglese e francese, lascia intravedere anche possibili espansioni verso il mercato italiano.

Decisivo nella costituzione dell'alleanza avversaria è stato l'accordo conclu-

so nel luglio '96 fra Bertelsmann AG e CLT che ha favorito la formazione di un polo unico che raggruppa tutte le attività televisive dei due gruppi.

L'approvazione della fusione (valore circa 6,58 miliardi di dollari pari a 10.500 miliardi di lire) delle rispettive unità televisive, che ha portato alla costituzione di un gruppo composto da almeno trentacinque emittenti operanti in Europa e da ditte produttrici di film, spettacoli di intrattenimento, "spot" pubblicitari e servizi, ha consentito a Bertelsmann AG la conquista di una posizione dominante nel mercato tedesco ed il consolidamento della propria posizione nel mercato europeo.

Particolarmente significativa nella definizione dello scenario europeo della televisione numerica è stata l'intesa tecnologica raggiunta alla fine di luglio dell'anno corrente fra i due rivali Leo Kirch e Bertelsmann AG circa il tipo di decodificatore da utilizzare.

E' stata così abbattuta una delle maggiori barriere che ostacolavano lo sviluppo del mercato nascente della televisione numerica, ed è stata instaurata una situazione di sostanziale monopolio "tecnologico". Le due "cordate" in competizione nel mercato europeo della televisione numerica adotteranno il decodificatore realizzato da Leo Kirch, immesso sul mercato alla fine di luglio di quest'anno al costo di circa 890 marchi tedeschi (pari a 680.000 lire).

L'intesa sugli standard tecnologici raggiunta fra Leo Kirch e Bertelsmann AG riveste, quindi, una significativa valenza competitiva in quanto:

- ha spostato la competizione dalla tecnologia alla proprietà dei contenuti da trasmettere sulle proprie reti che diventano, perciò, l'effettivo elemento competitivo di due gruppi in competizione;
- ristabilisce rapporti fra gli esponenti delle due alleanze in competizione e, eliminando la barriera tecnologica, favorisce lo sviluppo nel mercato tedesco della televisione numerica.

Nel settembre di quest'anno sono intervenuti cambiamenti all'interno dell'alleanza franco-tedesco-lussemburghese che determineranno nel prossimo futuro nuovi scenari nel mondo della televisione numerica.

Il consorzio MMBG (Multimedia Betriebsgesellschaft), nato per promuovere lo sviluppo della televisione numerica in Germania e formato da DB Telekom, Bertelsmann AG, Canal Plus e CLT, ha avuto vita breve. Nella seconda metà di settembre, infatti, i due principali partners, DB Telekom e Bertelsmann AG, si sono ritirati dall'alleanza. Il ritiro dell'operatore di telecomunicazioni può essere stato causato dalla volontà manifestata da DB Telekom di offrire in proprio servizi di televisione numerica ai propri abbonati via cavo. Questa defezione, insieme agli effetti determinati dalla fusione Canal Plus-Nethold, ha indotto ad una revisione delle strategie di Bertelsmann AG nel campo della televisione numerica. Inoltre il colosso editoriale tedesco rinuncia per ora al lancio sul mercato del pacchetto di canali televisivi numerici, denominato CLUB RTL, a causa della forte incertezza relativa alle potenzialità di crescita di questo mercato.

INTESA SUL DECODIFICATORE,
ABBATTUTA UNA DELLE MAGGIORI
BARRIERE ALLO SVILUPPO DELLA TV
NUMERICA

DB TELEKOM E BERTELSMANN
SI RITIRANO DALL'ALLEANZA

*Stefania Pietrantonì
Telecom Italia DG - Roma
Area Strategie Pianificazione e Controllo*

Antonio Manzalini

LA SINCRONIZZAZIONE NELLE RETI NUMERICHE DI TELECOMUNICAZIONI

Editore: CSELT - Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni S.p.A., Torino, 1996 pp. 546, L. 50.000

Il volume, curato da Antonio Manzalini e con il contributo di Roberto Bonello, Stefano Bregni, Marco Carbonelli, Domenico De Seta, Marina Di Lascio, Alfonso Mariconda, Daniele Perucchini, Luca Valtriani, tratta del problema molto attuale relativo alla sincronizzazione delle reti numeriche di telecomunicazioni. Lo sviluppo delle tecniche numeriche nelle reti di telecomunicazioni ha infatti portato all'esigenza di disporre di segnali di sincronizzazione di elevata stabilità ed accuratezza. In particolar modo, la tecnica di trasmissione basata sulla gerarchia di moltiplicazione numerica sincrona (SDH-Synchronous Digital Hierarchy), pur offrendo considerevoli vantaggi rispetto all'attuale sistema plesio-crono, richiede anche di estendere la distribuzione di segnali di temporizzazione particolarmente stabili ed accurati a tutti gli apparati trasmissivi, al punto di richiedere il progetto di reti di sincronizzazione adeguate. Questa pubblicazione colma una lacuna della letteratura specialistica e presenta la sintesi delle conoscenze che Telecom Italia, CSELT, Sirti e Fondazione Ugo Bordoni hanno messo assieme nella loro pluriennale esperienza sull'argomento; essa, quindi, rappresenta il punto di riferimento sulla tematica della sin-

cronizzazione delle reti numeriche di telecomunicazioni. Nel testo sono analizzati sia gli aspetti funzionali dei singoli orologi sia quelli sistemistici di rete; gli argomenti più specialistici sono approfonditi in apposite appendici. Nel capitolo 1, sono richiamati i concetti basilari della sincronizzazione e la loro applicazione nelle tecniche di commutazione e di trasmissione che si sono succedute negli anni; in particolare, nel capitolo 2 sono trattati gli aspetti di sincronismo di rete relativi alla tecnica di trasmissione SDH, con particolare enfasi alle attività del puntatore della trama SDH e dei problemi di "jitter" e "wander". Nel capitolo 3 sono analizzati i parametri fondamentali e le diverse strategie possibili per introdurre la sincronizzazione di una rete, mentre nel capitolo 4 sono esaminati le grandezze ed i modelli matematici necessari per un corretto progetto della rete di sincronizzazione. Nel capitolo 5 sono approfondite le diverse tecniche di misura dei parametri caratteristici degli orologi, e nel capitolo seguente sono illustrati i principi di funzionamento degli standard di frequenza. Nei capitoli 7 e 8 sono affrontati il problema del controllo del jitter e del wander nella rete e gli aspetti di qualità, protezione e gestione di una rete di sincronizzazione. Infine, i capitoli 9 e 10 forniscono rispettivamente esempi di realizzazione di reti di sincronizzazione in Italia ed all'estero e lo stato della normativa internazionale relativa all'argomento.

Grazie alla sua struttura editoriale, il libro è consigliato sia alle persone che vogliono conoscere queste tematiche, sia agli esperti

-in particolare personale addetto alle misure, pianificatori di rete e sistemisti di apparato- che possono trovare nelle appendici di alcuni capitoli alcuni approfondimenti utili per l'attività da essi svolta.

Roberto Rita

Silvano Gai
Pierluca Montessoro
Pietro Nicoletti

RETI LOCALI: DAL CABLAGGIO ALL'INTERNETWORKING

Editore: Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli, 2a edizione 1995, L'Aquila, 1996 pp. 780, L. 100.000

La seconda edizione del libro "LAN: dal cablaggio all'inter-networking" edito dalla SSGRR è stata completamente rinnovata rispetto alla precedente. Gli autori trattano il tema delle reti di calcolatori partendo dagli aspetti di base e rendendo quindi il libro accessibile anche ai non addetti ai lavori. Il testo descrive in modo chiaro e conciso tutti i principali aspetti legati al networking in ambito locale ed all'inter-networking. Nel libro sono descritti tutti i principali standard relativi ai primi tre livelli del modello di riferimento ISO/OSI, ed è dato particolare rilievo agli aspetti di cablaggio, alle LAN ed alla loro interconnessione sia in ambito locale sia su rete geografica. Gli autori sono riusciti a fornire una visione particolarmente



te chiara, aggiornata e completa sul modello di riferimento IEEE 802 e sui relativi protocolli, sui mezzi trasmissivi e gli standard per il cablaggio strutturato (EIA/TIA 567, 568, 569 e 607, ISO/IEC 11801), sulle principali pile di protocolli standard e proprietari, sul bridging e sugli algoritmi ed i protocolli di routing. Il libro tratta anche le nuove tecnologie emergenti nel campo del networking locale (Ethernet a 100 Mb/s, 100VG AnyLAN, wireless LAN, LAN switching e LAN virtuali); notevole enfasi è anche data al trasferimento asincrono (ATM) ed al suo impiego sia in ambito locale sia geografico. Sono successivamente esaminati gli aspetti legati alla trasmissione di dati su linee seriali ed alle problematiche di sicurezza.

Oltre agli aspetti teorici e di standardizzazione, il volume propone anche esempi e regole pratiche di configurazione, il tutto con completezza e con un linguaggio molto chiaro, evitando quei "teoricismi" che avrebbero resa la trattazione idonea solo per esperti del settore.

Giorgio Valent



Sergio Gianotti

SISTEMI DI COMUNICAZIONE VIA SATELLITE

Editore: Telecom Italia, 1995

pp. 385

(Volume distribuito dai PO Divisionali di Telecom Italia)

L'introduzione dell'informatica distribuita nei processi lavorativi, in un numero sempre crescente di realtà aziendali, ha stimolato la domanda di nuovi servizi di comu-

nica sia in ambito geografico sia in ambito locale.

In questa realtà sempre più complessa e multiforme, che richiede soluzioni affidabili ed ad alto contenuto tecnologico, i sistemi via satellite si pongono come strumento ideale per l'interconnessione di isole ad alta velocità.

Nei prossimi anni si prevede una sensibile espansione della domanda di MSS (Mobile Satellite service) per i servizi di comunicazione e localizzazione che andranno dalla semplice messaggistica al trasporto multimediale delle informazioni con trasmissione bidirezionale ed in tempo reale di voce, dati ed immagini.

La possibilità di trasportare le informazioni indipendentemente dalla posizione degli utenti coinvolti nel collegamento rende il satellite il mezzo più flessibile per la comunicazione su scala globale.

In questo scenario il testo presentato si colloca come punto di riferimento nella comprensione delle problematiche riguardanti le comunicazioni via satellite, delineandone le direttrici di sviluppo e la probabile evoluzione, presentando le soluzioni oggi in fase di attuazione e quelle che si realizzeranno a breve ed a medio termine.

Il libro, che raccoglie una significativa esperienza dell'autore in questo campo, presenta gli aspetti essenziali teorici ed applicativi delle comunicazioni via satellite, integrando in esso la visione aziendale sulla situazione nazionale ed internazionale.

Dopo una introduzione sulla teoria dei sistemi orbitanti e delle comunicazioni spaziali, sono descritte le diverse tecniche di trasmissione e di accesso impiegate tra due stazioni terrestri attraverso

un satellite, facendo particolare riferimento alle prestazioni ed all'affidabilità.

Sono presentati successivamente i più importanti servizi di trasporto e di rete tra stazioni fisse e le principali prospettive d'integrazione delle trasmissioni via satellite con le reti terrestri per trasmissione dati.

Il volume termina con un'esauriente rassegna dell'offerta di telecomunicazioni via satellite in Italia e con un'ampia panoramica delle prospettive di sviluppo dei servizi in ambito nazionale ed internazionale.

Particolare cura è stata posta nel corredare il testo di figure, grafici e tabelle per una efficace comprensione della materia.

La sistematicità e la vastità degli argomenti trattati consentono di ritenere la trattazione valida non solo all'interno di corsi di formazione ed aggiornamento professionale, ma anche come testo introduttivo in corsi specifici.

Claudio Brosco

